DIRECTION DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ENVIRONMENTAL PROTECTION BRANCH

Étude environnementale portant sur la qualité des sédiments de la portion sud du lac Saint-Pierre utilisée par le Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions (CEEM) de Nicolet

Environnement Canada
Région du Québec

Environment Canada
Quebec Region

104-00386/

Étude environnementale portant sur la qualité des sédiments de la portion sud du lac Saint-Pierre utilisée par le Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions (CEEM) de Nicolet

Étude environnementale portant sur la qualité des sédiments de la portion sud du lac Saint-Pierre utilisée par le Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions (CEEM) de Nicolet

Rapport final

Brigitte Cusson et Alain Latreille
Interventions et restauration
Environnement Canada

Avec la collaboration de:

Sonia Thiboutot et Guy Ampleman
Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC-Valcartier)
Ministère de la Défense nationale

Raymond Gagnon
Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions (CEEM - Nicolet)
Ministère de la Défense nationale

Direction de la protection de l'environnement
Environnement Canada – Région du Québec

2003

Publié avec l'autorisation du ministre de l'Environnement

© Travaux publics et Services gouvernementaux, 2003
N° de catalogue En40-618/3-2003F
ISBN 0-662-88563-5

Équipe de projet

Comité technique

Vincent Jarry Ph.D., administrateur de l'entente (Environnement Canada)

Capt. Gilles Belley, coordonnateur de l'entente (Défense nationale)

Capt. Jean-Luc Rosso, coordonnateur de l'entente (Défense nationale)

Brigitte Cusson, chargée de projet (Environnement Canada)

Alain Latreille, coordonnateur scientifique (Environnement Canada)

Raymond Gagnon, gérant de site (Défense nationale, CEEM-Nicolet)

Stéphane Jean, responsable de l'environnement (Défense nationale)

Dr Sonia Thiboutot, aviseur scientifique (Défense nationale, RDDC-Val)

Dr Guy Ampleman, aviseur scientifique (Défense nationale, RDDC-Val)

Collaborateurs

Marc Leblanc, Louise Houde et Dominique Proulx (Défense nationale, CEEM-Nicolet)

Marc Provencher, Robert Daigle, Danick Venne, Mélanie Talbot (Environnement Canada, Direction de la protection de l'environnement)

Pierre Gagnon, Michel Arseneau, Germain Brault, Sylvain Trottier, Bernard Rondeau, Sylvie Roberge, Isabelle Saulnier (Environnement Canada, Centre Saint-Laurent)

Kenneth Doe et Paula Jackman (Environnement Canada, Environmental Science Centre)

SNC TEC

Hyd-Eng Geophysics Inc.

NOTRA

Envirolab

Philip Services Analytiques

Labexcel inc.

Laboratoires SAB inc.

GDG Conseil inc.

Note au lecteur

Les résultats des deux premières phases d'échantillonnage (pré-échantillonnage et campagne principale), présentés dans ce rapport, ont fait l'objet de publications antérieures sous forme de rapports d'étape (Cusson *et al.*, 2000; Cusson et Latreille, 2001). Les résultats de la troisième phase de caractérisation (bioessais, identification et dénombrement d'organismes benthiques, qualité chimique des sédiments) sont présentés pour la première fois dans le présent document qui constitue le rapport final de l'étude en titre, présentant l'ensemble des campagnes d'échantillonnage réalisées et regroupant tous les résultats obtenus.

La participation du ministère de la Défense nationale (MDN) a évidemment été indispensable pour la planification des travaux. Ainsi, le chapitre 3 - Historique des essais de munitions - a été écrit par M. Raymond Gagnon, gérant du site au CEEM et le chapitre 4 - Revue de littérature sur les matériaux énergétiques - a été rédigé par Dr Sonia Thiboutot et Dr Guy Ampleman, tous deux chercheurs au centre de Recherche et développement pour la défense Canada-Valcartier (RDDC-Val).

Résumé

Le ministère de la Défense nationale (MDN) effectue, depuis 1952, des tests d'homologation au Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions (CEEM) de Nicolet. Des projectiles inertes ou contenant des matériaux énergétiques y sont testés. On estime que plus d'un demi-million de projectiles ont été tirés depuis le début des opérations à ce site, dont environ 300 000 dans le lac Saint-Pierre.

Une entente de collaboration scientifique a été conclue entre Environnement Canada et le MDN en mars 1999 dans le but de caractériser les sédiments de la portion sud du lac Saint-Pierre utilisée par le CEEM. Cette étude visait l'évaluation de l'impact des tirs de munitions sur ce secteur de l'écosystème fluvial, la formulation de recommandations sur l'utilisation de cette portion du fleuve et l'évaluation de la pertinence d'une éventuelle restauration.

L'historique des activités de tir, une revue de littérature sur les matériaux énergétiques, la description biophysique du secteur ainsi que les résultats de la campagne de pré-échantillonnage réalisée à l'automne 1999 ont été présentés dans un premier rapport d'étape.

La deuxième phase de l'étude, faisant l'objet d'un second rapport d'étape, comprenait 1) la réalisation de levés géophysiques dans le but de préciser la répartition des projectiles à l'intérieur de la zone d'étude, et ce, afin d'orienter la stratégie d'échantillonnage des sédiments et 2) une campagne d'échantillonnage pour vérifier la qualité chimique des sédiments du secteur utilisé par le CEEM au lac Saint-Pierre. L'inventaire géophysique (hiver et printemps 2000) a permis d'identifier des sous-secteurs (points chauds) où les concentrations de projectiles ou de débris étaient les plus élevées. Les efforts d'échantillonnage ont donc été orientés en conséquence. Au total, 74 stations ont été visitées au printemps 2000 et 80 échantillons furent récoltés et analysés. Les analyses de composés énergétiques effectuées ont démontré l'absence de contamination mesurable (ppb) pour ces composés. Un seul point chaud a présenté des teneurs en métaux supérieures au secteur de comparaison. Les concentrations mesurées n'ont toutefois rien d'exceptionnelles lorsque comparées aux critères de qualité des sédiments. La différence notée au niveau des métaux serait probablement plus expliquée par les conditions granulométriques présentes aux stations échantillonnées que par la présence de projectiles et de débris. L'impact

potentiel du point chaud a néanmoins été évalué sur la base des principes de précaution et d'évaluation du pire scénario.

Ainsi, une troisième phase d'échantillonnage comportait la réalisation de bioessais ainsi qu'un inventaire d'organismes benthiques afin de compléter l'étude selon l'approche choisie (triade). Les réponses observées (bioessais et benthos) confirment les résultats obtenus quant à la qualité chimique des sédiments (phase II).

Il appert donc que les activités de tir et la présence des projectiles dans les sédiments n'ont, au moment de l'étude, peu ou pas d'impacts sur la qualité chimique de ces derniers ni de répercussions sur les organismes qui y vivent. La qualité chimique des sédiments n'est actuellement pas préoccupante pour l'environnement. Les conclusions de l'étude présentées dans ce rapport sont le reflet de la situation observée en 2000. Compte tenu du potentiel de dégradation des projectiles, un suivi de la situation est recommandé au moins à tous les 10 ans.

Abstract

The Department of National Defence (DND) has been operating a Munitions and Experimental Test Centre (METC) in Nicolet since 1952. Inert and explosive shells are tested at this facility. Since the beginning of operations at the site, an estimated half million shells have been fired, of which 300 000 were fired into the lake.

A scientific cooperation agreement was negotiated between DND and Environment Canada (DOE) in march 1999 to carry out the sediment characterisation in the southern portion of lake St.Pierre being used by the METC. The goal of this study is to assess the impact of shell firing on the ecosystem of that sector, make recommendations regarding the use of the sector and evaluate the pertinence of restoration.

An historical review of firing activities, a scientific review of explosives, a description of the study site and data from the fall 1999 pre-sampling campaign were presented in a previous report.

The second phase of the study included 1) a geophysical survey to identify and describe the distribution of shells in the study zone in order to orient sediment sampling operations, and 2) a sampling campaign to assess sediment quality in the sector of lake St.Pierre used by the METC. The geophysical survey (spring and fall 2000) enabled us to identify those sub-sectors where shell and fragment concentrations were highest (hot-spots). Sampling was oriented accordingly. A total of 74 stations were visited in the spring of 2000 and 80 samples were collected and analysed. Analysis of energetic materials has shown no detectable levels (ppb) of these materials in any of the samples. Only one hot-spot shows metal concentrations higher than at the control stations. Nonetheless, those concentrations aren't exceptional in comparison to sediment quality criteria. Differences observed in metal contamination are more probably explained by granulometric differences than the presence of shell fragments. The potential impact of that hot-spot has nevertheless been evaluated on a precautionary basis as the « worst case » scenario.

Therefore, the third and conclusive sampling phase included bioassays and a benthic survey in accordance with the Triad approach which was chosen for this study. The observed

responses (bioassays and benthos) confirm results from the chemical characterisation phase (phase II).

It is evident from these results that, at the time of this study, the projectiles in the sediment had little or no impact on their chemical quality and on the organisms that live in them. The chemical quality of the sediment in the study sector does not pose a risk to the environment at the present time. The conclusions presented in this report reflect the situation in 2000. Considering the potential for projectile degradation, monitoring is recommended at least every 10 years.

Table des matières

LISTE DES FIGURES		XIII
LISTE DES TABLEAUX		XIV
DÉFINITIONS		XVI
1	**INTRODUCTION**	1
2	**SECTEUR À L'ÉTUDE**	3
2.1	Localisation et description	3
2.2	Milieu physique	5
2.2.1	Hydrologie	5
2.2.2	Dépôts de surface	6
2.2.3	Dynamique sédimentaire	7
2.2.4	Qualité des sédiments	7
2.2.5	Vents	8
2.2.6	Régime des glaces	8
2.2.7	Plaine de débordement	8
2.3	Milieu biologique	9
2.3.1	Végétation	9
2.3.2	Espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables	13
2.3.3	Faune ichtyenne	13
2.3.3.1	Distribution et diversité des espèces	13
2.3.3.2	Aires de fraye et d'alevinage	14
2.3.3.3	Secteurs des rives sud et nord	14
2.3.4	Invertébrés aquatiques	15
3	**HISTORIQUE DES ESSAIS DE MUNITIONS**	19
3.1	Contexte et objectifs	19
3.2	Contenu	19
3.3	Historique	20
3.4	Description du site	21
3.4.1	Situation géographique	21
3.4.2	La zone de tir	21

3.4.3	Les zones d'impact	21
3.5	Les données	21
3.5.1	Les projectiles	21
3.5.2	Les ratés (« DUD's »)	22
3.5.3	Les quantités	22
4	**REVUE DE LITTÉRATURE SUR LES MATÉRIAUX ÉNERGÉTIQUES**	27
4.1	Expertise acquise	27
4.2	État des connaissances sur la présence de matériaux énergétiques, métaux et autres substances dans les sédiments à proximité de projectiles en milieu aquatique: revue de littérature complémentaire	33
5	**CAMPAGNE DE PRÉ-ÉCHANTILLONNAGE**	37
5.1	Échantillonnage	37
5.2	Programme de santé et de sécurité	38
5.3	Méthodes analytiques	38
5.4	Analyses statistiques	40
5.5	Résultats et discussion	41
5.6	Bilan	46
6	**INVENTAIRE GÉOPHYSIQUE**	47
6.1	Méthodologie	47
6.2	Calibration et traitement de données	48
6.3	Résultats	48
7	**CAMPAGNE PRINCIPALE D'ÉCHANTILLONNAGE**	51
7.1	Échantillonnage	51
7.1.1	Stratégie d'échantillonnage	53
7.1.1.1	Données de 1986 (nord du lac Saint-Pierre)	53
7.1.1.2	Données de 1999 (sud du lac Saint-Pierre)	53
7.1.1.3	Inventaire géophysique	54
7.1.2	Plan d'échantillonnage	54
7.1.2.1	Assurance et contrôle de la qualité	56
7.1.2.2	Variables mesurées	56
7.2	Programme de santé et de sécurité	56

7.3	Analyses	57
7.3.1	Conservation et préparation des échantillons	57
7.3.2	Paramètres analysés	57
7.3.3	Méthodes analytiques	57
7.3.4	Assurance et contrôle de la qualité	59
7.3.5	Analyses statistiques	60
7.4	Résultats et discussion	61
7.4.1	Variables physico-chimiques	61
7.4.2	Paramètres inorganiques	62
7.4.3	Paramètres organiques	68
7.4.4	Assurance et contrôle de la qualité	68
7.4.4.1	Campagne d'échantillonnage	68
7.4.4.2	Analyses physico-chimiques	70
7.5	Bilan	72
8	**ÉCHANTILLONNAGE COMPLÉMENTAIRE**	73
8.1	Échantillonnage	73
8.2	Programme de santé et de sécurité	74
8.3	Analyses	76
8.3.1	Conservation et préparation des échantillons	76
8.3.2	Paramètres analysés	76
8.3.3	Méthodes analytiques	77
8.3.3.1	Analyses chimiques	77
8.3.3.2	Bioessais	78
8.3.3.3	Inventaire des organismes benthiques	78
8.3.4	Assurance et contrôle de la qualité	79
8.3.5	Analyses statistiques	79
8.4	Résultats et discussion	79
8.4.1	Variables physico-chimiques	79
8.4.2	Sédiments	80
8.4.3	Eau de surface	80
8.4.4	Bioessais	84
8.4.5	Inventaire des organismes benthiques	88
8.4.6	Contrôle de la qualité	90
8.4.6.1	Analyses chimiques	90
8.4.6.2	Bioessais	90

8.4.6.3 Inventaire des organismes benthiques 90
8.5 Bilan 92

9 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 93

RÉFÉRENCES 95

ANNEXES
1 Liste des projectiles les plus couramment utilisés au CEEM Nicolet 104
2 Poids et composition du remplissage des projectiles et de diverses composantes 105
3 Types de ratés («DUD's») 107
4 Procédure d'échantillonnage des sédiments utilisée dans le cadre de la campagne de pré-échantillonnage (octobre 1999) 108
5 Instructions Permanentes d'Opérations (pré-échantillonnage, octobre 1999) 109
6 Détermination de la matière organique par incinération 116
7 Coordonnées des stations échantillonnées dans le cadre de la campagne principale (printemps 2000) 117
8 Procédure d'échantillonnage des sédiments utilisée dans le cadre de la campagne principale (printemps 2000) 119
9 Fiche de terrain 120
10 Matrice de calcul (plan d'échantillonnage) 121
11 Instructions Permanentes d'Opérations (échantillonnage principal, printemps 2000) 122
12 Protocole de préparation des échantillons 131
13 Méthodes d'analyses 133
14 Programme d'assurance et de contrôle de la qualité 138
15 Variables physico-chimiques mesurées *in situ* (échantillonnage principal) 146
16 Analyse des données de contamination des sédiments du secteur sud du lac Saint-Pierre récoltés au printemps 2000 148
17 Rapport d'évaluation de la qualité de la caractérisation chimique des sédiments prélevés dans la portion sud du lac Saint-Pierre 153
18 Coordonnées et variables physico-chimiques mesurées dans le cadre de la campagne d'échantillonnage complémentaire (automne 2000) 167
19 Instructions Permanentes d'Opérations (échantillonnage complémentaire, automne 2000) 168
20 Résultats des bioessais effectués au Environmental Science Centre (Environnement Canada) de Moncton 174

Liste des figures

1	Limites de la zone de tir, des terrains du ministère de la Défense nationale et du refuge d'oiseaux migrateurs de Nicolet	4
2	Bathymétrie du lac Saint-Pierre	17
3	Cartographie des milieux humides du lac Saint-Pierre (image Landsat-TM du 30 juillet 1988)	18
4	Utilisation historique de la zone CYR 606	24
5	Localisation des stations échantillonnées lors de la campagne de pré-échantillonnage (octobre 1999)	39
6	Répartition des anomalies magnétiques (hiver et printemps 2000)	49
7	Localisation des stations échantillonnées lors de la campagne principale d'échantillonnage (printemps 2000)	52
8	Analyse en composantes principales de la contamination métallique et de la composition granulométrique des sédiments récoltés dans les trois secteurs (points chauds, intermédiaire et de comparaison) au printemps 2000	66
9	Localisation des stations échantillonnées lors de la campagne d'échantillonnage complémentaire en octobre 2000	75

Liste des tableaux

1	Registre des projectiles - Lac Saint-Pierre 1952 à 1999	25
2	Propriétés physiques et chimiques des composés nitroaromatiques et des nitramines	30
3	Localisation des stations échantillonnées lors de la campagne de pré-échantillonnage (octobre 1999)	40
4	Variables physico-chimiques mesurées lors de la campagne de pré-échantillonnage (octobre 1999)	43
5	Résultats des analyses des échantillons de sédiments: matière sèche, matières organiques totales et granulométrie	44
6	Résultats des calculs effectués dans le cadre du contrôle de la qualité	45
7	Groupements des stations obtenus par analyse de groupement hiérarchique effectuée en fonction des caractéristiques granulométriques et des teneurs en matières organiques et sèches	45
8	Échantillons de contrôle de la variabilité des prélèvements	56
9	Paramètres inorganiques analysés	58
10	Paramètres organiques analysés	58
11	Stations du secteur des points chauds pour lesquelles des triplicatas fantômes ont été préparés	60
12	Caractéristiques physiques des sédiments dans les points chauds (A-H), le secteur intermédiaire et le secteur de comparaison	62
13	Teneurs moyennes en métaux dans chacun des secteurs	64
14	Teneurs moyennes en métaux (total extractible) dans les argiles marines du fleuve Saint-Laurent	65
15	Teneurs (mg/kg) en métaux dans les sédiments de la portion nord du lac Saint-Pierre	67
16	Taux de détection des BPC et des HAP dans les sédiments pour l'ensemble des échantillons analysés	69
17	Nombre d'échantillons (sédiments) par secteur avec détection des contaminants organiques	70
18	Moyenne, écart-type et coefficient de variation (C.V.) des analyses effectuées sur les échantillons de sédiments prélevés dans le cadre du programme d'assurance et de contrôle de la qualité	71

19	Paramètres analysés dans les échantillons de sédiments, d'eau interstitielle extraite des échantillons de sédiments ainsi que d'eau de surface	77
20	Teneurs moyennes en métaux dans les sédiments des secteurs de comparaison et de la zone exposée	81
21	Caractéristiques physiques des sédiments des secteurs de comparaison et de la zone exposée	81
22	Caractérisation physico-chimique de l'eau de surface (colonne d'eau)	82
23	Teneurs moyennes historiques dans les eaux du fleuve Saint-Laurent et à l'embouchure des rivières situées en amont de la zone d'étude	84
24	Sommaire des résultats des bioessais sur les échantillons du lac Saint-Pierre	86
25	Teneurs moyennes du pH, des métaux et de l'azote ammoniacal dans l'eau interstitielle des sédiments du secteur de comparaison et de la zone exposée	87
26	Sommaire des résultats de l'inventaire des organismes benthiques (automne 2000)	91

Définitions

Projectile: Composante (avec ou sans fusée, avec ou sans matière énergétique) d'une munition qui est propulsée à l'extérieur du canon.

Fusée: Composante dans laquelle se retrouve l'amorce qui a comme fonction d'initier le projectile.

Avec fusée: Projectile avec moyen d'initiation.

Sans fusée: Projectile sans moyen d'initiation.

Avec matériaux énergétiques: Projectile qui contient des matériaux énergétiques (ex.: TNT, RDX, HMX, pyrotechnique, propulseur) dans au moins une de ses constituantes (ex.: fusée, corps du projectile, moteur).

Inerte: Projectile qui ne contient aucune matière énergétique et pouvant être rempli de substituts constitués de mélange de cire («cire d'abeille») lorsqu'on veut analyser seulement ses propriétés physiques et balistiques.

Raté (« DUD »): Au sens strict, projectile rempli de matériaux énergétiques devant détoner lors de l'impact mais qui n'a pas fonctionné tel que prévu pour une raison quelconque. Compte tenu des opérations spécifiques effectuées au CEEM (Nicolet), la définition est élargie et englobe tous les projectiles comportant au moins une composante énergétique, même s'ils n'ont pas de moyen d'initiation.

ppm: Partie par million (ex.: mg/kg ou mg/L)

ppb: Partie par milliard (ex.: µg/kg ou µg/L)

ppt: Partie par trillion (ex.: ng/kg ou ng/L)

1 Introduction

Le ministère de la Défense nationale (MDN) effectue, depuis 1952, des tests d'homologation au Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions (CEEM) de Nicolet. Des projectiles inertes ou contenant des matériaux énergétiques y sont testés. On estime que plus d'un demi-million de projectiles ont été tirés depuis le début des opérations à ce site, dont environ 300 000 dans le lac Saint-Pierre. Le 1er janvier 2000 a marqué l'arrêt des tirs dans le lac Saint-Pierre. Avant cette date, la majorité des tirs étaient dirigés en direction du lac et tombaient dans l'eau ou sur la glace, jusqu'à une distance de 22 km. On ne procédait à la récupération des projectiles que sur la glace en hiver et sur les rives en été. Les projectiles perdus au fond du lac n'étaient pas récupérés. La plupart de ceux-ci sont inertes, mais on estime qu'au maximum 8000 projectiles non détonés ou dont une partie contiendrait des matériaux énergétiques pourraient être présents. Les projectiles tirés au CEEM peuvent être classés en deux catégories :

a) Projectiles inertes

- Ils ne contiennent aucune matière énergétique et peuvent être remplis de substituts constitués d'un mélange de cire.

b) Projectiles contenant des matériaux énergétiques

- Ils sont remplis de matériaux énergétiques et doivent détoner. Si, exceptionnellement, ils ne détonent pas, ils sont alors considérés comme ratés (non détonés).
- Ils sont remplis de matériaux énergétiques (charge principale) mais n'ont pas de moyen d'initiation.
- Ils présentent seulement une composante énergétique (amorce, fusée, traceur pyrotechnique, propulseur).

Une entente de collaboration scientifique a été conclue entre Environnement Canada et le MDN en mars 1999 dans le but de caractériser les sédiments de la portion sud du lac Saint-Pierre utilisée par le CEEM. Cette étude visait l'évaluation de l'impact des tirs de munitions sur ce secteur de l'écosystème fluvial afin de formuler des recommandations sur l'utilisation de cette portion du fleuve et de juger de la pertinence d'une éventuelle restauration.

La description biophysique du secteur à l'étude, l'historique des activités de tir ainsi qu'une revue de littérature sur les matériaux énergétiques étaient indispensables pour la planification des travaux de terrain. Une campagne de pré-échantillonnage, réalisée au mois d'octobre 1999, a permis la mise au point d'un protocole d'échantillonnage sécuritaire et efficace des sédiments du champ de tir. Les analyses effectuées et les paramètres mesurés auront également permis l'identification et la validation de stations de comparaison potentielles. Des levés géophysiques ont été réalisés à l'hiver et au printemps 2000. Ces derniers avaient pour but d'obtenir une meilleure précision de la répartition des projectiles à l'intérieur de la zone d'étude afin d'orienter la stratégie d'échantillonnage des sédiments. Ils ont ainsi permis la mise en oeuvre de la campagne principale d'échantillonnage au printemps 2000. Une troisième phase d'échantillonnage comportait la réalisation de bioessais ainsi que l'identification et le dénombrement d'organismes benthiques afin de compléter l'étude selon l'approche choisie (triade).

Ce document présente une vue d'ensemble de la démarche entreprise par Environnement Canada et le MDN dans la réalisation d'une étude de caractérisation des sédiments du secteur sud du lac Saint-Pierre utilisé par le CEEM de Nicolet. L'expérience, les compétences et les connaissances des experts des deux ministères ont été mises à profit dans l'intégration du travail effectué. Les chapitres traitant de l'historique des essais de munitions (chapitre 3) et des matériaux énergétiques (chapitre 4) ont été préparés par le MDN et constituaient une somme d'information essentielle pour une bonne planification des travaux. La description du secteur à l'étude (chapitre 2) ainsi que les chapitres portant sur les travaux effectués lors des différentes campagnes d'échantillonnage (chapitres 5, 6, 7 et 8) ont été rédigés par Environnement Canada et complètent le présent document. Les principales conclusions ainsi que les recommandations sont formulées au chapitre 9.

2 Secteur à l'étude

2.1 LOCALISATION ET DESCRIPTION

La zone de tir du ministère de la Défense nationale occupe, dans la portion sud du lac Saint-Pierre, un vaste territoire de 23 km de longueur sur 7 km de largeur (Burton, 1991). Les limites du secteur désigné CYR 606 (zone de pratiques de tir et d'exercices) sur la carte 1312 du Service hydrographique du Canada sont indiquées à la figure 1. Le CEEM de Nicolet borde la rive sud du lac entre l'embouchure de la rivière Nicolet (incluant l'île Moras) et la Longue Pointe, où il occupe une bande riveraine d'environ 20 km sur une largeur d'un kilomètre suivant la ligne des hautes eaux. Ces terres, d'une superficie totale de 1950 ha, sont de tenure publique mais d'accès limité (Langlois *et al.*, 1992). Pour des raisons de sécurité et de protection de la faune, les terrains du CEEM sont inclus dans une zone décrétée refuge d'oiseaux migrateurs par le Service canadien de la faune en 1982 (figure 1). Un aménagement de Canards Illimités Canada ayant pour but de créer des habitats d'élevage pour la sauvagine occupe 128 ha à l'extrémité sud-ouest du secteur (Benoît *et al.*, 1988).

Ces terres sont situées dans la municipalité régionale de comté (MRC) de Nicolet-Yamaska et chevauchent les municipalités de Saint-Jean-Baptiste-de-Nicolet, Nicolet-Sud et Baie-du-Febvre (Gratton *et al.*, 1998).

Une grande partie du littoral sud du lac Saint-Pierre, incluant le secteur de la zone de tir, constitue une halte migratoire pour la sauvagine et une zone de fraie importante pour plusieurs espèces de poissons. Le lac Saint-Pierre a été nommé, en 1998, «Zone humide d'importance internationale» aux termes de la convention de Ramsar et a été désigné «Réserve mondiale de la biosphère» de l'UNESCO à l'automne 2000.

Étant donné les contraintes d'accessibilité à la zone d'essais balistiques du MDN, très peu d'études ont porté spécifiquement sur ce secteur. Ce chapitre présente donc une synthèse des principales sources d'information relatives à la description biophysique du lac Saint-Pierre. Les lecteurs particulièrement intéressés par certains aspects sont encouragés à consulter les documents cités en référence.

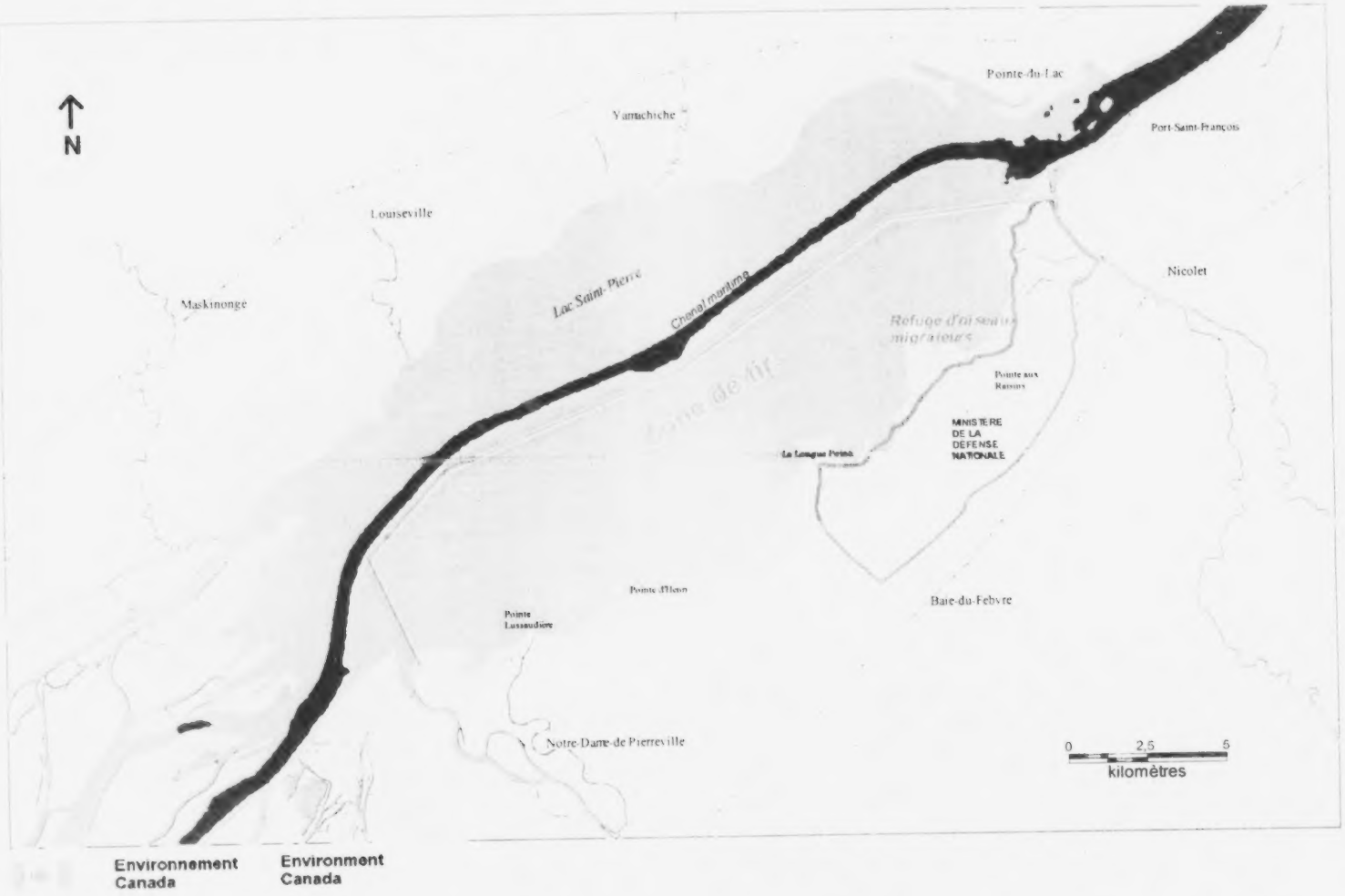


Figure 1 **Limites de la zone de tir, des terrains du ministère de la Défense nationale et du refuge d'oiseaux migrateurs de Nicolet**

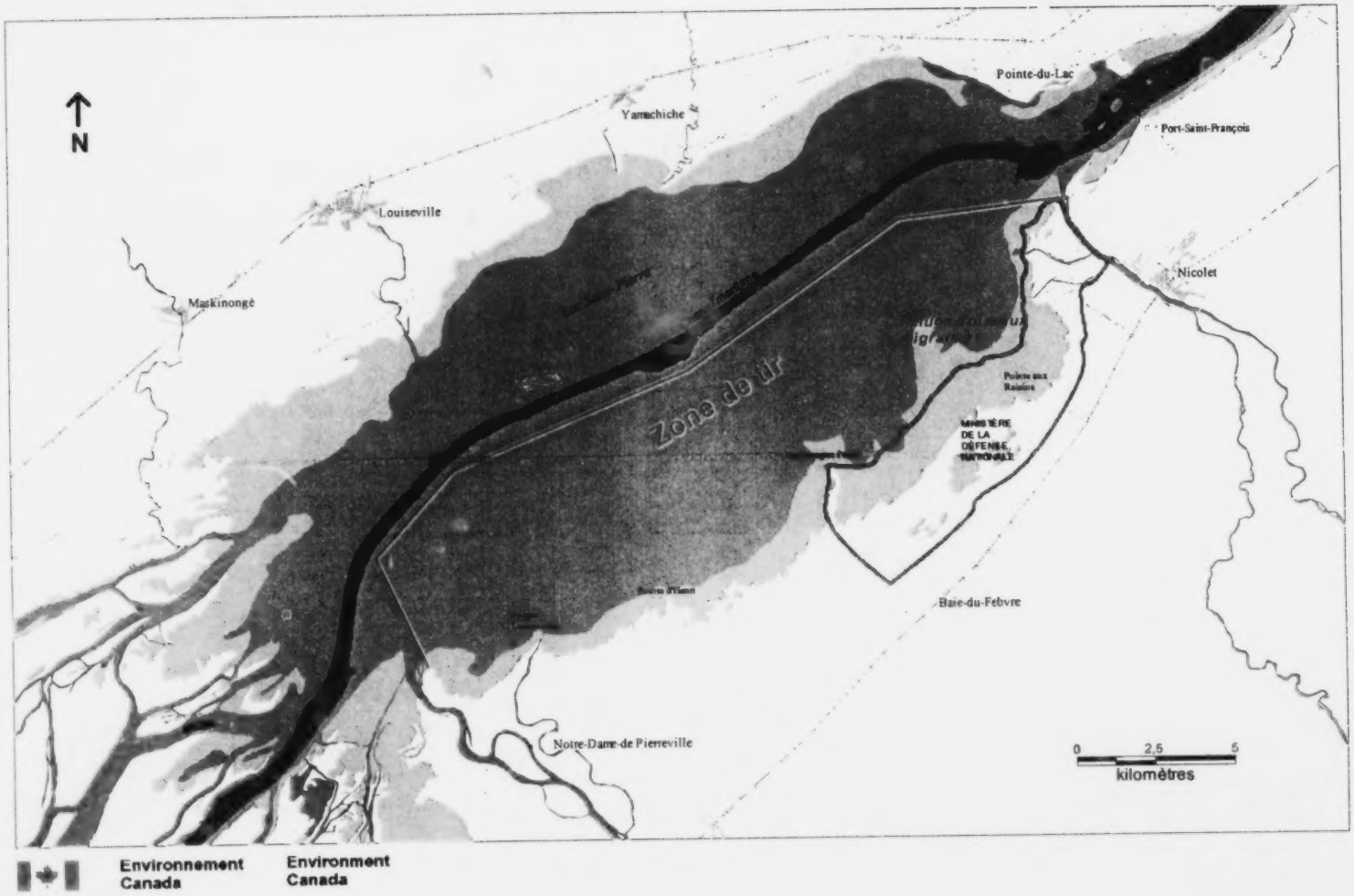


Figure 1 **Limites de la zone de tir, des terrains du ministère de la Défense nationale et du refuge d'oiseaux migrateurs de Nicolet**

2.2 MILIEU PHYSIQUE

2.2.1 Hydrologie

Le lac Saint-Pierre, situé entre Sorel et Trois-Rivières, est le dernier élargissement important du fleuve Saint-Laurent avant l'estuaire. Il mesure près de 480 km² et se divise en deux secteurs: une multitude d'îles forment un delta en amont alors que le lac proprement dit se trouve en aval (Langlois *et al.*, 1992). La partie aval du lac, qui s'étend des embouchures des rivières Maskinongé et Yamaska jusqu'à celle de la rivière Nicolet, est divisée en sections nord et sud par le chenal maritime. La profondeur y est généralement inférieure à trois mètres, sauf dans la voie maritime où elle atteint 11 m en moyenne (figure 2) (Lalonde et Létourneau, 1996; Sylvestre *et al.*, 1992).

L'ensemble des bassins hydrographiques qui déversent leurs eaux dans le lac Saint-Pierre couvrent une superficie de 46 075 km². Avec ses 42 250 km², le bassin hydrographique de la rive sud contribue à lui seul à 91 % de cet apport d'eau; en effet, les quatre importantes rivières qui le drainent déversent un débit mensuel moyen de 712 m^3/s (Benoît *et al.*, 1987). Le fleuve Saint-Laurent, qui montre un débit moyen annuel de 10 900 m^3/s à l'entrée du lac Saint-Pierre, voit donc son débit atteindre quelque 11 600 m^3/s à la sortie du lac, près de Nicolet (Sylvestre *et al.*, 1992). On observe une fluctuation mensuelle du débit du fleuve, les mois d'avril et mai présentant les débits les plus élevés, et les mois de janvier et février, les débits les plus faibles. La grande fluctuation des débits des tributaires constitue l'événement hydrologique dominant, surtout près des rives, dans les zones d'influence des affluents (Frenette *et al.*, 1989).

Les eaux du lac ne constituent pas un mélange homogène. Les eaux de la partie nord du lac sont peu minéralisées (< 50 mg/L $CaCO_3$) et proviennent essentiellement de la rivière des Outaouais par le biais des rivières des Prairies, des Mille-Îles et de l'Assomption en mélange graduel. La partie sud du lac reçoit les eaux très minéralisées (> 75 mg/L $CaCO_3$) du fleuve Saint-Laurent, provenant principalement des Grands Lacs, auxquelles s'ajoutent les eaux des quatre affluents majeurs, soient les rivières Richelieu, Yamaska, Saint-François et Nicolet qui se mélangent lentement aux eaux du fleuve (Germain et Janson, 1984; Environnement Canada, 1981; Benoît *et al.*, 1987; St-Cyr *et al.*, 1992). De la même façon, les eaux des autres tributaires riverains demeurent plaquées contre les rives sur de grandes distances. De nombreux ruisseaux

drainant les terres agricoles adjacentes aux terrains du MDN ont été creusés et redressés jusqu'au lac. Ces cours d'eau présentent un régime hydraulique très variable, avec des débits forts au printemps et faibles à nuls en été. Le chenal maritime crée une véritable barrière hydrodynamique au mélange des eaux des parties nord et sud du lac (INRS-Eau *et al.*, 1992; Lalonde et Létourneau, 1996). Au lac Saint-Pierre, la vitesse du courant est de l'ordre de 0,6 à 1 m/s dans le chenal de la voie maritime, et inférieure à 0,3 m/s de part et d'autre de ce chenal (Sylvestre *et al.*, 1992; Environnement Canada, 1981).

2.2.2 Dépôts de surface

La région du lac Saint-Pierre fait partie de l'unité physiographique des basses terres de la vallée du Saint-Laurent, bordée au nord par les Laurentides et au sud par les Appalaches (Benoît *et al.*, 1987). Selon une récente classification du ministère de l'Environnement et de la Faune (1996), elle appartient à la région naturelle de la plaine du Haut-Saint-Laurent (B1). Le sous-sol y est formé de roches sédimentaires d'âge cambro-ordovicien. Dans le secteur de Nicolet, ces roches sont associées au groupe de Lorraine, constitué de shale gris, de grès et de calcaire, et à celui de Queenston, principalement formé de shales rouge et verdâtre et contenant des entrelits de grès vert (Globensky, 1987). Le paysage de la rive sud du lac Saint-Pierre se caractérise par les deux ensembles physiographiques distincts que sont la plaine de Yamaska-Haut-Richelieu (B1-EP3) et la cuvette du lac Saint-Pierre (B1-EP8). Le premier est surtout représenté par des dépôts marins argileux et sablonneux que l'on retrouve à l'embouchure de la rivière Nicolet. La cuvette du lac Saint-Pierre, quant à elle, occupe la majeure partie du territoire à l'étude et correspond à la plaine inondable au relief très uni. Les rives du lac et la presque totalité des terres du MDN se composent donc d'alluvions sablonneuses et vaseuses récentes d'origine fluviatile, qui reposent sur les argiles de la mer de Champlain (Gratton *et al.*, 1998).

Une analyse granulométrique a été réalisée en 1986 par la Direction des eaux intérieures d'Environnement Canada (région du Québec) sur des échantillons provenant de 91 stations réparties dans le secteur nord du lac Saint-Pierre (Hardy *et al.*, 1991). Le sable domine pour l'ensemble de cette zone (60 %), tandis que les particules fines, comprenant le limon et l'argile, constituent près de 40 % des particules sédimentaires. Une part importante des stations étaient

situées dans une zone dynamique où les sédiments fins ne s'accumulent pas. Le reste des stations montre des sédiments composés de sable, de limon et d'argile, mais où l'un ou l'autre de ces types de particules dominent (Hardy *et al.*, 1991). Selon Lessard (1991), le secteur au sud de la voie navigable en aval de la rivière Richelieu jusqu'au trois quarts ouest du lac se caractérise surtout par une composition limoneuse et argileuse des sédiments. La proportion moyenne de sable est de 37 % (n = 9 échantillons). Seule la zone face à l'embouchure de la rivière Nicolet possède une forte proportion de sable.

2.2.3 Dynamique sédimentaire

Le lac Saint-Pierre est un des secteurs du fleuve où le taux de sédimentation est le plus élevé, puisque outre les apports provenant de l'amont, il faut ajouter les apports importants venant des rivières de la rive sud (Richelieu, Saint-François, Yamaska et Nicolet). À la sortie du lac, la teneur du fleuve en matières en suspension est d'environ 12 à 15 mg/L. Malgré l'importance des apports, le lac Saint-Pierre ne constitue pas un important bassin de sédimentation, puisque la majorité des sédiments en ressort (Frenette *et al.*, 1989; Sylvestre *et al.*, 1992). En rive sud, les sédiments ont tendance à s'accumuler tout au long de la saison estivale, au fur et à mesure de la croissance de la végétation des marais dont les tiges des plantes trappent les sédiments. À l'automne, cette végétation disparaît et les sédiments sont emportés lors des crues automnales ou printanières. La faible bathymétrie (figure 2), l'hydrodynamique et l'effet des glaces et des vents violents concourent au phénomène d'entraînement ou de remise en suspension de la charge sédimentaire fine dans le lac Saint-Pierre (Frenette *et al.*, 1989).

2.2.4 Qualité des sédiments

Compte tenu des contraintes d'accessibilité à la zone d'essais balistiques du MDN, le taux de perturbation et (ou) de contamination de ce territoire est très peu connu (Langlois *et al.*, 1992).

Des BPC et des métaux lourds ont été détectés à presque toutes les stations étudiées par Hardy *et al.* (1991) dans les îles et le secteur nord du lac Saint-Pierre en 1986. Parmi les 21 pesticides organochlorés analysés, seuls le DDE et l'hexachlorobenzène ont été détectés. Les six

hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) analysés ont tous été détectés au moins à quelques stations. Seul le fluoranthène est présent dans la majorité des stations. Les teneurs en cuivre, en nickel et en plomb sont très élevées dans toute la région étudiée. Les concentrations sont toutefois beaucoup plus importantes dans le secteur des îles, et comme dans le cas du chrome, leur présence se manifeste à partir de la région industrielle de Sorel-Tracy pour suivre principalement la rive sud du lac. Les principaux apports de ces métaux pour ce secteur proviennent des industries de Sorel-Tracy (Sylvestre *et al.*, 1992).

2.2.5 Vents

Les deux directions dominantes des vents (sud-ouest et nord-est), selon les saisons, s'ajustent à l'axe longitudinal du fleuve et particulièrement à ceux des lacs (Saint-François, Saint-Louis et Saint-Pierre), permettant ainsi la formation de vagues. Selon Frenette *et al.* (1989), si on estime la vitesse moyenne des vents lors des tempêtes à 40 km/h, on évalue la hauteur des vagues au lac Saint-Pierre entre 0,60 et 1,10 m hors du chenal maritime et à près de 2 m dans le chenal. Ces vagues peuvent générer des courants de fond importants dans les zones de faibles profondeurs et résulter en l'érosion des fonds de limon jusqu'à une profondeur de 2,5 m et jusqu'à 1,8 m dans le cas des fonds de sable (Frenette *et al.*, 1989).

2.2.6 Régime des glaces

Selon les observations de la Garde côtière canadienne (GCC), les glaces sont bien implantées dès le début du mois de janvier. La GCC procède cependant à des opérations visant à briser le couvert de glace au début du mois de mars. Les glaces affectent le régime de sédimentation par leur action mécanique sur les berges et le fond. L'érosion des berges par les glaces est chose courante dans le Saint-Laurent, notamment dans le delta de Sorel (Frenette *et al.*, 1989; Sylvestre *et al.*, 1992).

2.2.7 Plaine de débordement

L'une des principales et des plus importantes caractéristiques du lac Saint-Pierre demeure l'étendue de sa plaine de débordement (Benoît *et al.*, 1987). Selon Langlois *et al.* (1992),

il s'agirait de la plus grande plaine inondable d'eau douce au Québec (18 000 ha) représentant 20 % des habitats humides du fleuve Saint-Laurent. Au moment de la crue printanière qui survient généralement à la mi-avril, les eaux débordent du lit du lac et submergent une partie importante des terres (Benoît *et al.*, 1987). À l'exception des terrasses plus élevées près de la rivière Nicolet, les terres du MDN font partie d'un secteur de la rive sud du lac où l'on retrouve les plus importantes superficies inondées lors des crues printanières. En effet, ces terres sont presque totalement inondées sous les hautes eaux printanières à récurrence de deux ans (Gratton *et al.*, 1998; Benoît *et al.*, 1987). La durée de l'inondation varie d'une année à l'autre mais elle s'étend généralement sur une période de cinq à neuf semaines. L'amplitude des inondations et l'étendue de la plaine de débordement qu'elles affectent ont des répercussions importantes tant sur l'écologie du milieu que sur les activités humaines qui s'y pratiquent (Benoît *et al.*, 1987).

2.3 MILIEU BIOLOGIQUE

2.3.1 Végétation

Les basses terres localisées en amont de Trois-Rivières appartiennent au domaine climacique de l'érablière à caryers (Langlois *et al.*, 1992; Benoît *et al.*, 1987). Les milieux humides du lac Saint-Pierre sont classés dans une région du même nom qui comporte toute la portion du fleuve allant de Grondines à l'archipel de Montréal (Couillard et Grondin, 1986). La région du lac Saint-Pierre appartient à la section alluviale de Marie-Victorin, qui correspond plus exactement à la section lentique laurentienne, sous-section bioclimatique B de Gauthier (1980). Enfin, selon Thibault (1989), cette région appartient au domaine écologique de l'érablière à tilleul et de l'érablière à bouleau jaune, plus précisément à la région écologique (2b) du lac Saint-Pierre (Gratton *et al.*, 1998).

La région du lac Saint-Pierre présente de nombreux milieux propices à l'établissement d'une végétation caractéristique des zones à substrats humides. L'abondance et la diversité de ces milieux sont favorisées par les eaux peu profondes, les faibles courants, les dépôts fins et la faible pente des rives. Compte tenu de la topographie caractérisant les rives du lac Saint-Pierre, c'est-à-dire de très faibles altitudes et pentes, la végétation terrestre est graduellement remplacée par une végétation de plus en plus aquatique lorsqu'on progresse vers le lac. Selon un gradient d'humidité

croissant, on y retrouve les quatre grands types de milieux humides tels que définis par Jacques et Hamel (1982), soit les marécages arborescent et arbustif, la prairie humide, les marais peu profond et profond et les herbiers aquatiques. L'image Landsat-TM du 30 juillet 1988 (figure 3) constitue une représentation des milieux humides au moment du développement maximal de la végétation au lac Saint-Pierre. Le niveau d'eau, à cette date, était alors considéré comme particulièrement bas (4,23 m) (Lalonde et Létourneau, 1996). L'été 1999 fut également très sec. Le niveau observé le 30 juillet 1999 est assez comparable: il était à 4,06 m. Le secteur de la rive sud présente une superficie de marais, herbiers aquatiques et marécages supérieure à celle de la rive nord (13 391 ha par rapport à 9 567 ha). Les secteurs de la rive sud les plus riches en terres humides sont ceux du MDN (marais et herbiers aquatiques), la région qui va de la pointe Lussaudière à la Longue Pointe (grande superficie en herbiers aquatiques) et le secteur compris entre la ville de Sorel et la rivière Yamaska (baie Lavallière) qui possède une grande superficie en prairies humides (Jacques, 1986; Lessard, 1991). La plaine d'inondation associée au milieu agricole est également très importante au lac Saint-Pierre (Benoît *et al.*, 1987). Les végétaux qui s'installent dans ces milieux sont donc essentiellement des plantes hygrophiles ou des espèces tolérantes aux inondations périodiques. Les milieux humides, de par leur vaste superficie et leur grande diversité floristique, constituent des habitats essentiels pour la sauvagine, les poissons, les mammifères, les amphibiens et les reptiles (Benoît *et al.*, 1987; Lalonde et Létourneau, 1996).

La végétation terrestre et aquatique du lac Saint-Pierre a été décrite ou cartographiée par de nombreux auteurs (Langlois *et al.*, 1992), mais à part la cartographie des terres humides du lac produite il y a une dizaine d'années par Jacques (1986), seule l'étude de Gratton *et al.* (1998) décrit la végétation et la flore des terres du MDN de façon assez spécifique. Les travaux de Gratton (1983) ont permis la description des herbiers aquatiques situés en face de Baie-du-Febvre, secteur situé immédiatement à l'ouest de la Défense nationale, alors que ceux de Jacques (1986) permettaient l'identification des communautés de plantes émergentes caractéristiques des marais du littoral dans le secteur à l'étude. Les inventaires de Gratton *et al.* (1998), effectués en 1995 et 1996, ont entre autres permis de reconnaître que la cartographie produite par Jacques (1986) était encore très actuelle.

Les herbiers aquatiques de plantes submergées sont dominés par la Vallisnérie américaine (*Vallisneria americana*) et l'Hétéranthère litigieuse (*Heteranthera dubia*) (Gratton, 1983; Jacques, 1986), alors que ceux de plantes à feuilles flottantes ou flottant librement sont dominés par le Nymphéa tubéreux (*Nymphaea tuberosa*) et la Lenticule mineure (*Lemna minor*) (Jacques, 1986; Gratton *et al.*, 1998). Gratton (1983) a répertorié la végétation dans le secteur de Baie-du-Febvre, entre le chenal Tardif (à l'ouest) et la Longue Pointe (à l'est) et a noté que les herbiers aquatiques s'étendaient pratiquement jusqu'à la voie maritime. Le lac Saint-Pierre étant très peu profond, sauf dans la voie maritime et quelques chenaux, la zone qui subit l'influence de la lumière peut s'étendre jusqu'au fond sur presque toute la superficie du plan d'eau. Cela permet l'enracinement des plantes aquatiques sur la quasi totalité de la surface du lac ce qui procure nourriture, abri et support à la faune aquatique. La faible profondeur a également pour conséquence un réchauffement rapide des eaux en début de saison et par conséquent un développement élevé de la production végétale favorisant à son tour la production animale (Benoît *et al.*, 1987). Une évaluation de la biomasse végétale submergée du lac Saint-Pierre par télédétection suggère une densité plus élevée de macrophytes submergées au sud qu'au nord de la voie maritime (Lavoie *et al.*, 1991). St-Cyr *et al.* (1992) ont noté un pourcentage de perte de biomasse végétale supérieur à 90 % dans la majorité des herbiers aquatiques du lac Saint-Pierre entre les mois d'août et octobre 1990. À l'automne, le lac Saint-Pierre se vide pour ainsi dire de ses plantes aquatiques submergées, qui se décomposent et sont entraînées vers l'aval avec le courant (St-Cyr *et al.*, 1992).

Comme sur toute la rive sud du lac Saint-Pierre, de vastes communautés de plantes émergentes occupent le littoral face aux terres du MDN. Les marais profonds, tels que définis par Jacques et Hamel (1982), sont ceux situés dans 15 à 100 cm d'eau pendant la période de croissance. Ce sont de loin les plus développés. Ils sont dominés par diverses combinaisons de plantes émergentes dont les plus fréquentes sont le Scirpe lacustre (*Scirpus lacustris*), le Scirpe américain (*Scirpus americanus*), le Scirpe fluviatile (*Scirpus fluviatilis*), suivies du Typha à feuilles étroites (*Typha angustifolia*), de la Pontédérie cordée (*Pontederia cordata*), de l'Éléocharide de Small (*Eleocharis americanus*) et, plus rarement, de la Zizanie des marais

(*Zizania palustris*), de la Sagittaire à feuilles larges (*Sagittaria latifolia*) et de la Sagittaire dressée (*Sagittaria rigida*) (Gratton *et al.*, 1998).

Les marais peu profonds bordent les rivages du lac et occupent certaines dépressions humides derrière le bourrelet riverain. Jacques et Hamel (1982) les définissent comme étant des marais où la profondeur d'eau ne dépasse pas 15 cm en dehors de la période de crue. Ils se composent principalement d'Éléocharide de Small, de Prêle fluviatile (*Equisetum fluviatile*), de Rubanier à gros fruits (*Sparganium eurycarpum*), de Typha à feuilles étroites et de Scirpe fluviatile. Parmi les autres espèces fréquentes se trouvent le Scirpe américain, la Sagittaire à feuilles larges, la Sagittaire dressée, le Butome à ombelle (*Butomus umbellatus*) et la Nymphée tubéreuse. Des plantes herbacées non émergentes telles que le Calamagrostis du Canada (*Calamagrostis canadensis*), l'Alpiste roseau (*Phalaris arundinacea*) et la Salicaire *(Lythrum salicaria*) partagent parfois la dominance de ces marais (Gratton *et al.*, 1998).

Les prairies humides se composent surtout de denses communautés d'Alpiste roseau et de Calamagrostis du Canada, alors que d'autres espèces accompagnent généralement l'une ou l'autre de ces dominantes. On retrouve des plantes émergentes telles l'Éléocharide de Small, le Prêle fluviatile, le Scirpe fluviatile et le Typha à feuilles larges (*Typha latifolia*) mais, le plus souvent, ce sont d'autres herbacées non émergentes tel le Liseron des haies (*Convolvulus sepium*), le Lycope d'Amérique (*Lycopus americanus*), les Carex sp. et la Salicaire qui partagent le couvert. Lorsque présents, les arbustes (Saule pétiolé (*Salix petiolaris*), Saule rigide (*Salix eriocephala*), Aulne rugueux (*Alnus rugosa*), Spirée à feuilles larges (*Spiraea latifolia*) et Houx verticillé (*Ilex verticillata*)) occupent moins de 25 % du couvert végétal (Gratton *et al.*, 1998).

Lorsque les arbustes et les arbres représentent plus de 25 % du couvert, l'habitat est désigné comme un marécage arbustif ou arborescent (Jacques, 1986). Les communautés arbustives situées sur le bourrelet de sable riverain sont dominées par le Saule pétiolé, le Saule rigide et le Saule noir (*Salix nigra*). Ces saulaies atteignent parfois la strate arborescente basse. Lorsque le couvert est dégagé, les mêmes plantes herbacées qui caractérisent la prairie humide dominent les strates inférieures. Les communautés de saules arborescents, dominées par le Saule noir ou le Saule fragile (*Salix fragilis*), occupent également cet habitat riverain. L'Érable argenté (*Acer saccharinum*), le Frêne de Pennsylvanie (*Fraxinus pennsylvanica*), l'Orme d'Amérique

(*Ulmus americana*) et le Peuplier deltoïde (*Populus deltoïdes*) accompagnent parfois les saules (Gratton *et al.*, 1998). L'érablière argentée constitue le marécage arboré caractéristique de la plaine inondable du fleuve (Langlois *et al.*, 1992).

2.3.2 Espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables

Les inventaires réalisés en 1995 et 1996 par Gratton *et al.* (1998) ont permis de répertorier sept espèces de la liste des plantes vasculaires susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables donc cinq n'avaient pas encore été identifiées pour le secteur (Lavoie, 1992; Gratton *et al.*, 1998). Il s'agit de l'Éragrostis hypnoïde (*Eragrostis hypnoides*), du Carex alopécoïde (*Carex alopecoidea*), du Cinna roseau (*Cinna arundinacea*), du Carex folliculé (*Carex folliculata*), du Bident discoïde (*Bidens discoidea*), de l'Iris de Virginie variété de Shreve (*Iris virginica*) et du Panic clandestin (*Panicum clandestinum*). Ce sont toutes de nouvelles mentions pour les terres du MDN. Les trois premières espèces étaient déjà connues de la région du lac Saint-Pierre mais les trois dernières sont de nouvelles mentions pour les milieux riverains de cette région (Gratton *et al.*, 1998).

Quatre des espèces retrouvées seront maintenues dans la prochaine révision de la liste des plantes vasculaires susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables: le Bident discoïde, le Carex folliculé, l'Éragrostis hypnoïde et l'Iris de Virginie variété de Shreve. Parmi celles-ci, la présence de l'Iris de Virginie variété de Shreve revêt une importance particulière puisque cette espèce n'était auparavant connue que de deux stations au Québec. Il est assez probable que ce secteur de la rive sud du lac Saint-Pierre abrite d'autres espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables, en particulier dans les habitats non inventoriés tels les marais et les herbiers aquatiques (Gratton *et al.*, 1998).

2.3.3 Faune ichtyenne

2.3.3.1 Distribution et diversité des espèces

Les inventaires ont permis d'identifier 78 espèces différentes de poissons d'eau douce sur le territoire du lac Saint-Pierre. La présence d'un si grand nombre d'espèces en regard des 108 espèces d'eau douce enregistrées pour l'ensemble du Québec permet d'affirmer que la région du

lac Saint-Pierre est dotée d'une très grande diversité ichtyologique (Benoît *et al.*, 1987). Vingt-trois familles sont représentées, les plus importantes en nombre d'espèces étant les Cyprinidés (20 espèces), les Percidés (9 espèces), les Catostomidés (8 espèces), les Centrarchidés (5 espèces) et les Salmonidés (5 espèces) (Langlois *et al.*, 1992). Des études plus récentes porteraient le nombre total d'espèces identifiées au lac Saint-Pierre à 79, voire 80 espèces (Langlois *et al.*, 1992; Leclerc, 1990). Cette grande richesse spécifique est principalement attribuable à la dimension et à la diversité des habitats, à la crue printanière, à l'importance de la plaine d'inondation et au fait que le lac est relié au système fluvial (Langlois *et al.*, 1992). Les deux grandes unités physiographiques, les îles et la portion lacustre du plan d'eau, montrent d'importantes différences de richesse spécifique (Langlois *et al.*, 1992; Massé et Mongeau, 1974). Le secteur de l'Archipel présente le plus de diversité, suivi des secteurs des rives sud et nord et finalement du couloir fluvial (Benoît *et al.*, 1988).

2.3.3.2 Aires de fraye et d'alevinage

La majorité des espèces inventoriées se reproduisent dans les eaux de la région du lac Saint-Pierre. Pour la plupart d'entre elles, la période de fraye se situe entre la débâcle printanière et le début de l'été. La localisation des frayères et des aires d'alevinage varie d'une espèce à l'autre en fonction de critères comme la profondeur de l'eau, la vitesse du courant, la nature du fond, la présence d'herbiers, etc. (Benoît *et al.*, 1987).

2.3.3.3 Secteurs des rives sud et nord

Vingt-deux espèces de poissons ont été recensées en période des hautes eaux dans la plaine inondable, mais seulement 11 d'entre elles sont abondantes. En font partie, le Grand corégone (*Coregonus clupeaformis*), le Grand Brochet (*Esox lucius*), la Perchaude (*Perca flavescens*), la Barbotte brune (*Ictalurus nebulosus*) et le Crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*). La plaine inondable est utilisée pour l'alevinage et l'alimentation. Les deux espèces les plus associées aux terres inondées sont le Grand Brochet et la Perchaude (Benoît *et al.*, 1987).

L'ensemble du pourtour du lac Saint-Pierre, en des proportions variables selon les secteurs, contient des frayères pour ces espèces. La majorité du périmètre riverain du lac, incluant le milieu aquatique proprement dit et les aires de la plaine inondable attenantes, est constitué

d'habitats dont la qualité pour le poisson varie de bonne (indice 4) à excellente (indice 6) (Benoît *et al.*, 1987).

Sur la rive sud, les zones importantes sont:

- les habitats humides (à l'intérieur de la récurrence de deux ans) compris dans le secteur entre la Longue Pointe à l'ouest, au ruisseau David Houle à l'est (qualité 6);
- la zone de l'Anse du Fort (qualité 6);
- la baie Saint-François (qualité 5);
- une zone débutant vers l'ouest à la pointe Lussaudière et englobant vers l'est une partie de la commune de Baie-du-Febvre (qualité 5).

On doit cependant souligner que le secteur compris entre le ruisseau David Houle à l'ouest et la pointe de l'Île de Bougainville à l'est (qualité 4) présente un intérêt particulier en raison de la persistance de l'inondation, ce qui augmente sa valeur relative (Benoît *et al.*, 1987).

2.3.4 Invertébrés aquatiques

Les invertébrés benthiques, la faune phytophile et le périphyton constituent la biomasse prédominante en milieu lotique (Langlois *et al.*, 1992). La période d'inondation de la plaine du lac Saint-Pierre, qui dure de cinq à neuf semaines, permet à une faune zooplanctonique et benthique diversifiée et abondante de s'y développer et de contribuer à la productivité de l'écosystème lacustre. La plupart des micro-organismes ont leur cycle vital lié à la plaine de débordement. En effet, peu d'organismes sont apportés par le fleuve. Les eaux inondant la plaine au printemps proviennent principalement des affluents situés en amont, notamment les rivières Saint-François et Yamaska dont les eaux sont relativement pauvres en cette période de l'année (Mailhot *et al.*, 1984).

La température de l'eau et la photopériode règlent l'apparition des diverses espèces en présence. L'évolution temporelle des communautés d'invertébrés se traduit par une augmentation significative de la biomasse tout au cours de la période d'inondation: Cet accroissement est à la fois dû à l'augmentation de la densité des organismes et à leur croissance individuelle. Cependant, tant chez les communautés zooplanctoniques qu'épibenthiques, on observe une baisse de la

biomasse disponible au début de juin. Ce phénomène correspond à la fin des cycles vitaux des espèces d'eau froide (Mailhot *et al.*, 1984).

La productivité de la plaine inondable varie selon les années compte tenu qu'elle peut avoir une durée variable de mise en eau et de profondeur. La durée de l'inondation joue un rôle essentiel puisque pendant cette période les communautés d'invertébrés représentent la principale source de nourriture pour les alevins en croissance. Les milieux à support végétal dense conservent une bonne part des invertébrés alors que les milieux dépourvus de végétation en retiennent peu (Mailhot *et al.*, 1984).

Sur la rive sud, les taxons dominants sont généralement les mollusques (*Sphaerium*, *Pisidium*, *Bithynia tentaculata*) ainsi que les oligochètes Tubificidés. Les mollusques représentent la plus grande proportion de la biomasse totale jusqu'au mois de juin où ils sont progressivement remplacés par les insectes et les crustacés (Langlois *et al.*, 1992; Mailhot *et al.*, 1984). Les gastéropodes constituent, en pourcentage et en biomasse, les organismes les plus importants dans la plupart des stations du lac Saint-Pierre. Ils peuvent constituer jusqu'à 92 % du nombre des organismes de la faune phytophile et 53 % du benthos. Les Tubificidés ont plutôt tendance à dominer (> 80 %) dans les stations les plus dégradées. Ils y sont cependant moins dominants que dans les autres zones du fleuve. Certains ostracodes et gammares peuvent à l'occasion constituer une part importante du nombre. Très peu d'insectes ont été inventoriés sur la rive sud; beaucoup de stations n'en contiennent aucun. La proportion d'insectes ne dépasse jamais 10 % dans les dénombrements. Cette pauvreté en nombre est parfois compensée par une richesse en biomasse par rapport aux Tubificidés. Les stations ayant les indices de diversité et d'équitabilité les plus élevés sur la rive sud sont situées dans le secteur de Nicolet et de Baie-du-Febvre, à l'extrémité est du lac. Ces milieux, où on peut compter plus d'une vingtaine d'espèces, sont caractérisés par une forte abondance d'ostracodes, de gammares et de mollusques (*Bithynia tentaculata* et *Sphaerium*) (Langlois *et al.*, 1992).

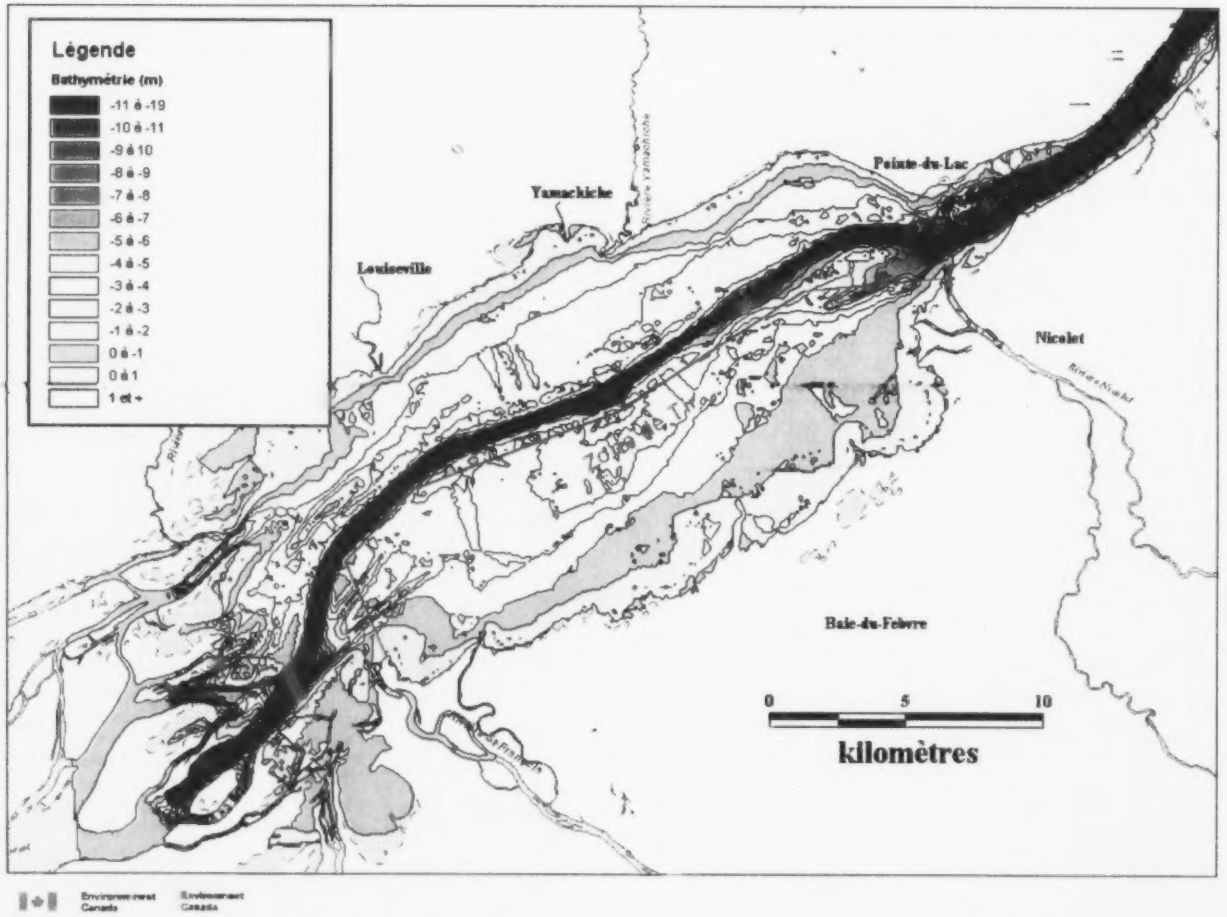


Figure 2 Bathymétrie du lac Saint-Pierre

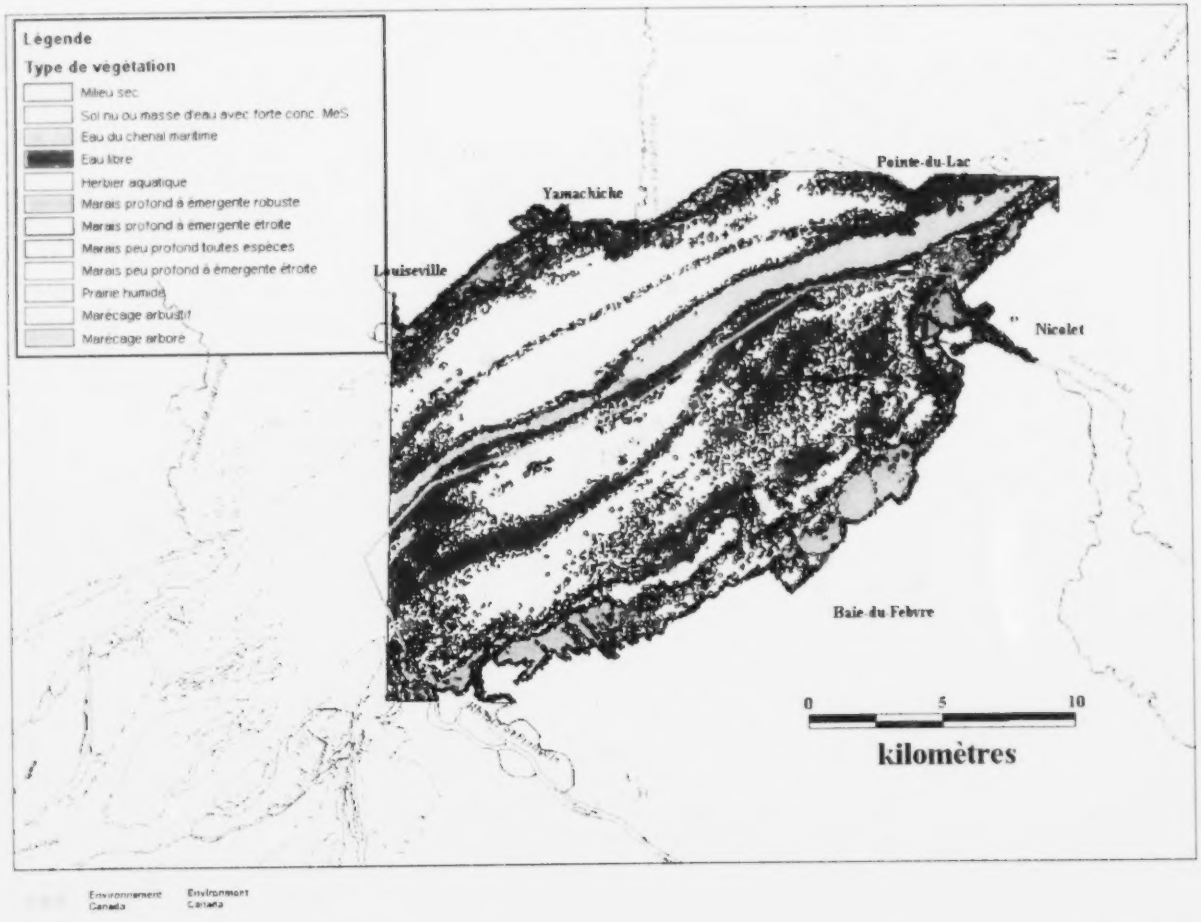


Figure 3 **Cartographie des milieux humides du lac Saint-Pierre (image Landsat-TM du 30 juillet 1988)**

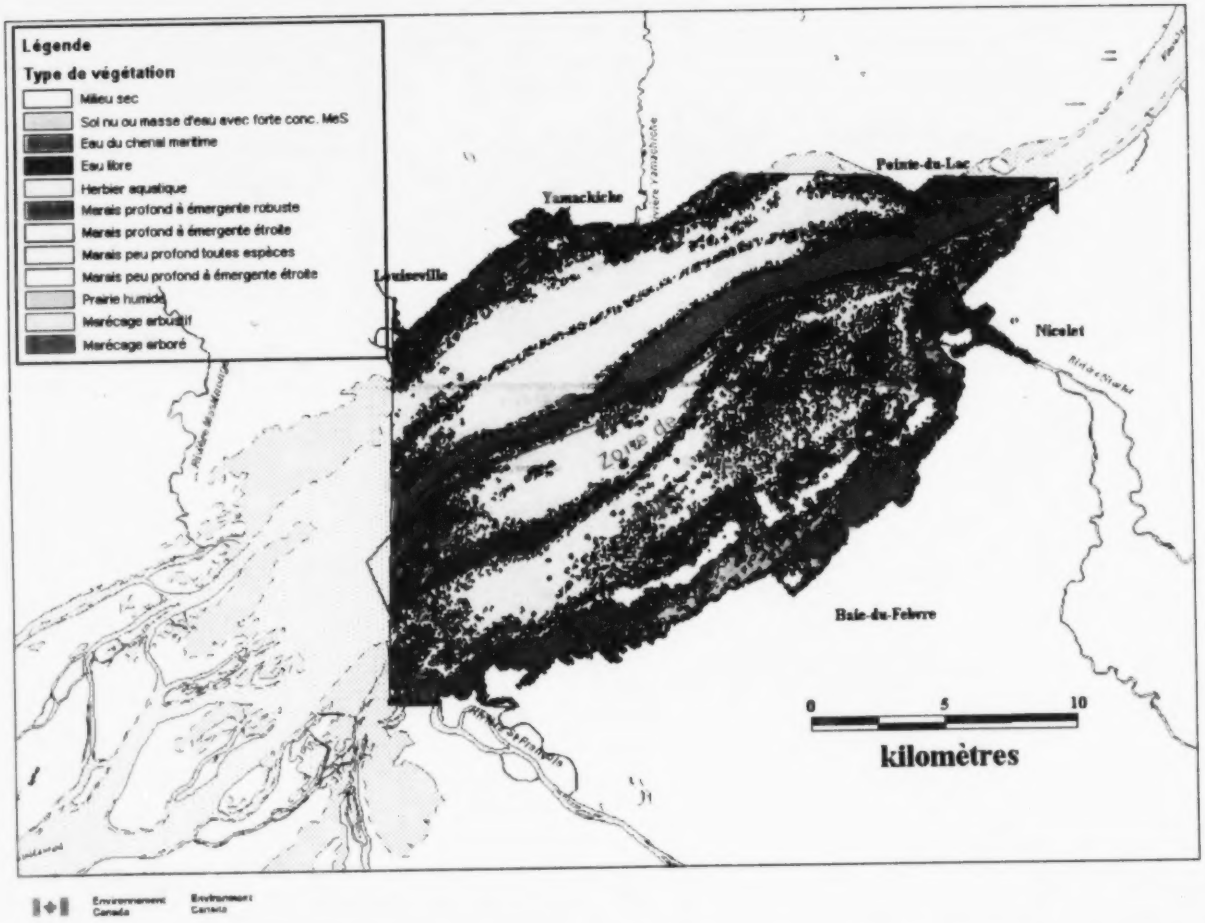


Figure 3 **Cartographie des milieux humides du lac Saint-Pierre (image Landsat-TM du 30 juillet 1988)**

3 Historique des essais de munitions

3.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

Le Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions (CEEM) est une unité de campagne des Forces canadiennes (FC) sous le commandement du Quartier général de la défense nationale (QGDN), Sous-ministre Adjoint (Matériels) (SMA (Mat)), et sous le contrôle fonctionnel du Directeur général - Services des Programmes d'équipement (DGSPE) et de son Directeur - Gestion du programme de Munitions (DPMG). La direction du CEEM est située à Val-Bélair et possède un détachement à Nicolet (CEEM Nicolet) autrefois appelé le Centre d'Essais et d'Expérimentation (CEE).

L'entente de collaboration scientifique intervenue entre la Direction de la protection de l'Environnement (DPE) d'Environnement Canada et le Ministère de la Défense Nationale (MDN), vise la caractérisation des sédiments de la portion sud du lac Saint-Pierre utilisée par le CEEM Nicolet. La présente analyse des données historiques des essais a été effectuée afin de colliger le plus d'information possible sur la quantité, la composition et la localisation des résidus se trouvant dans le lac Saint-Pierre.

3.2 CONTENU

Le présent chapitre contient une description générale des activités du CEEM, la situation géographique des installations, la localisation des zones d'impact ainsi que les quantités et la composition des projectiles et du remplissage.

Les données ont été recueillies à partir des archives du CEEM Nicolet et de divers rapports d'essais quotidiens, autrefois tenus par la section des techniciens aux essais. Les données de base ayant servi à la compilation du présent document, font partie d'un autre document beaucoup plus volumineux, maintenu à jour sur une base régulière par le personnel en place depuis 1952. Ces données de base ont été condensées afin d'en faciliter la lecture.

3.3 HISTORIQUE

Au début des années '50, le «Canadian Army Research Defence Establishment» (CARDE) décida de transférer les activités de sa section «Inspection Services Proof and Experimental Establisment» (ISP&EE) de Valcartier à Nicolet, Qc. En 1952, le terrain à Nicolet fut acheté et les tirs débutèrent avec des équipes de Valcartier qui voyageaient matin et soir pour effectuer les tâches. Le premier coup de canon fut tiré en mai 1952. Vers la fin de cette année, les travaux de construction débutèrent. Le 20 mars 1953, le journal *Le Nouvelliste* de Trois-Rivières écrivait que ce programme de construction constituait probablement le plus vaste champ de tir de tout le Commonwealth. Les chantiers employaient environ 500 hommes, et deux millions de dollars furent dépensés pour l'achat des terrains et l'installation des premiers bâtiments. Plusieurs autres millions de dollars furent subséquemment dédiés à la réalisation de ce projet.

Quelques années plus tard, suite à un changement dans l'organisation des Forces Canadiennes, le ISP&EE devenait le «Material Command Proof & Experimental Establishment» (MatCom P&EE). En 1967, l'intégration et l'unification des Forces Canadiennes amena d'autres changements au P&EE. L'intégration des Services et le «concept de Base» imposa un changement majeur et, le P&EE transféra 108 postes au nouveau détachement qui fut établi pour supporter l'unité. Durant cette période, l'unité changea son nom pour «Centre d'Essais et d'Expérimentation» (CEE), nom qu'elle garda jusqu'en 1998. En 1995, à cause de difficultés à obtenir le service rapidement de façon à rencontrer ses exigences vis-à-vis l'entreprise privée pour laquelle il effectuait les essais d'homologation, le CEE reprit les services de soutien. En 1998, avec le programme de «Diversification des Modes de Prestation des Services» (DMPS) et la remise à l'entreprise privée de la responsabilité des essais d'homologation, la majorité des opérations du CEE ont été déménagées sur le côté sud des installations du centre de Recherche et développement pour la Défense Canada-Valcartier (RDDC-Val) à Val-Bélair et le CEE devint le CEEM. Le MDN demeure propriétaire des terrains et des infrastructures et permet à la compagnie «Technologies Industrielles SNC» (TI SNC), depuis peu appelée «SNC Technologies» (SNC TEC), d'utiliser ses installations de Nicolet pour effectuer les essais d'homologation.

3.4 DESCRIPTION DU SITE

3.4.1 Situation géographique

Le CEEM Nicolet est situé à trois kilomètres à l'ouest de Nicolet et occupe la partie sud du lac Saint-Pierre qui est un élargissement du fleuve Saint-Laurent (figure 1). La propriété est constituée d'une bande de terrain de 20 km^2 s'étendant de la rivière Nicolet vers l'ouest à mi-chemin le long du lac Saint-Pierre.

3.4.2 La zone de tir

La zone de tir est représentée par une surface rectangulaire de 23 km par 7 km comprise dans la moitié sud du lac (figure 1). Cette partie du lac est peu profonde et en grande partie couverte de plantes aquatiques pendant l'été.

L'espace aérien y est réglementé et désigné «Zone Restreinte CYR 606» par Transport Canada qui est responsable de la navigation aérienne. Le survol en est interdit.

Cette zone est cependant fréquentée par les pêcheurs commerciaux le printemps et l'été et par les chasseurs d'oiseaux migrateurs à l'automne. La partie la plus au sud est désignée sanctuaire d'oiseau migrateur (figure 1).

3.4.3 Les zones d'impact

Sur la figure 4, on peut voir les parties de la zone de tir qui ont été utilisées depuis que le CEEM procède à des essais balistiques.

3.5 LES DONNÉES

3.5.1 Les projectiles

Deux types de projectiles sont tirés au CEEM. Il y a les projectiles inertes, qui ne contiennent aucune matière énergétique et les projectiles contenant des matériaux énergétiques. Ces derniers regroupent les projectiles à explosif brisant et les projectiles dont l'une des parties constituantes contient un élément énergétique. La majorité des projectiles qui ont été tirés dans la zone sont inertes. Les autres fonctionnent et par conséquent, les matériaux énergétiques sont détruits. Cependant certains projectiles contenant des matériaux énergétiques ne fonctionnent pas

comme ils le devraient et se déposent au fond du lac. La compilation des données inclut tous les projectiles de calibre 40 mm jusqu'à 155 mm. L'annexe 1 présente la liste des projectiles les plus couramment utilisés au CEEM Nicolet. On peut trouver le poids ainsi que la composition du remplissage de chaque type de projectile à l'annexe 2.

3.5.2 Les ratés («DUD's»)

Au sens strict, les ratés sont des projectiles remplis de matériaux énergétiques devant détoner lors de l'impact mais qui n'ont pas fonctionné tel que prévu pour une raison quelconque. Compte tenu des opérations spécifiques effectuées au CEEM (Nicolet), la définition est élargie et englobe tous les projectiles comportant au moins une composante énergétique, même s'ils n'ont pas de moyen d'initiation. Dès que l'observation du comportement d'un projectile ne permet pas de confirmer hors de tout doute qu'il a fonctionné, un rapport de raté est émis. Les tirs de projectiles remplis de matériaux énergétiques (charge principale) mais n'ayant pas de moyen d'initiation sont compris dans ce groupe. Ce genre d'essai a cessé en 1985. On retrouve la liste des différents types de ratés à l'annexe 3.

3.5.3 Les quantités

Le tableau 1 intitulé «Registre des projectiles - Lac Saint-Pierre 1952 à 1999» indique le nombre total de projectiles tirés depuis 1952. Le nombre de projectiles tirés qui apparaît à la droite de chaque année, comprend tous les projectiles qui ont été testés. Ils n'ont pas nécessairement tous été tirés en direction du lac Saint-Pierre et ne se sont donc pas tous retrouvés dans le lac. Ils peuvent avoir été tirés dans une butte d'arrêt ou sur une plaque d'acier ou bien avoir subi des tests statiques. Ainsi, le nombre de projectiles qui se sont retrouvés dans le lac Saint-Pierre est moindre que le total des projectiles inertes plus le nombre de projectiles ratés. De plus, les projectiles qui sont récupérés, n'apparaissent pas dans ce tableau. Il faut donc user de discernement en interprétant les données contenues dans ce tableau.

Selon les dernières statistiques compilées au 28 septembre 1999, un total de 512 443 projectiles ont été tirés au CEEM depuis l'ouverture du Centre en 1952. Les données recueillies pour les années 1952 à 1984 nous indiquent qu'un total de 416 792 projectiles ont été testés, mais

il nous a été impossible de compiler le nombre de projectiles inertes par rapport à ceux contenant des matériaux énergétiques. Une estimation de ceux-ci a donc été faite, basée sur les données des sept années suivantes (1985 à 1991). On a estimé à 35 % le nombre de projectiles contenant des matériaux énergétiques et à 65 % le nombre de projectiles inertes. De plus, on a estimé à 10 % le nombre des projectiles qui auraient été tirés dans des buttes d'arrêt, sur des plaques d'acier ou ayant subi des tests statiques. Le nombre de ratés qui se seraient retrouvés dans le lac a été estimé à 96 % du total des ratés.

Il est important de noter que le nombre total de ratés indiqué dans ce tableau, ainsi que le nombre total de ratés qui se sont retrouvés dans le lac, a été révisé à la hausse depuis les dernières estimations dû au fait que certains essais réalisés entre 1952 et 1985 consistaient à tirer des projectiles remplis de matériaux énergétiques (charge principale) mais n'ayant pas de moyen d'initiation. Ces essais produisaient automatiquement des ratés.

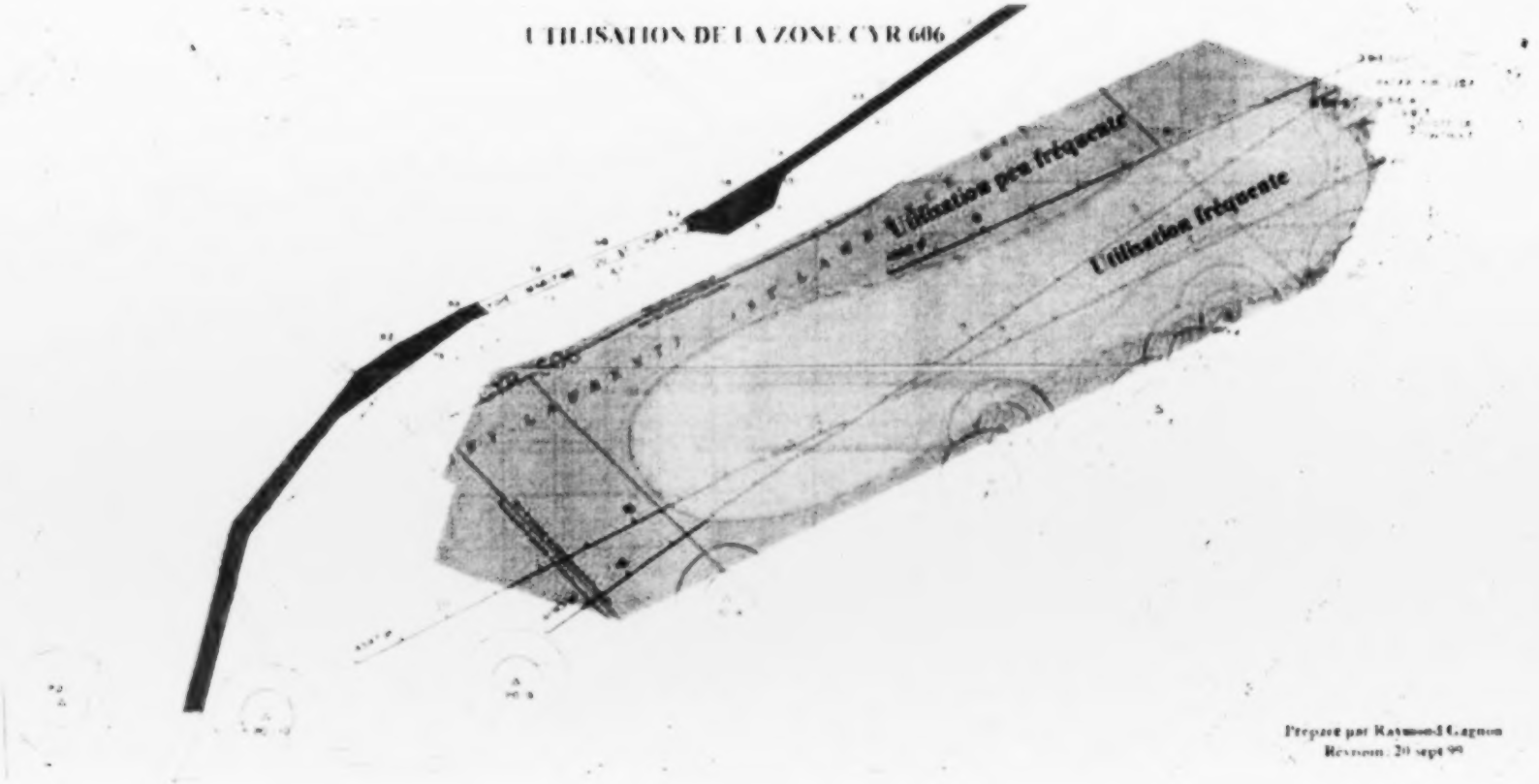


Figure 4 **Utilisation historique de la zone CYR 606**

Figure 4 **Utilisation historique de la zone CYR 606**

Tableau 1

Registre des projectiles - Lac Saint-Pierre 1952 à 1999

Année	Total tiré	Avec matériaux énergétiques	Inerte	Avec matériaux énergétiques Raté	Avec matériaux énergétiques Raté dans le lac	Nombre total de projectiles intacts dans le lac
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F) (Note 2)
1952 à 1984 (Note 1)	416792	145877 Estimé	270915 Estimé	7293 Estimé	7000 Estimé	250123
1985 à 1991	60100	18281	41819	871	835	37871
1992	4265	1343	2922	21	21	2943
1993	3802	1407	2395	10	10	2405
1994	3827	1750	2077	12	11	2088
1995	4096	1571	2525	7	7	899
1996	5886	1556	4330	80	80	2536
1997	6601	1313	5288	37	33	3349
1998	4396	1342	3054	31	31	1738
1999 (au 28 sept)	2678	896	1782	18	13	1795
1999 (récupéré)			-440		-49	-489
TOTAL	**512 443**	**175 336**	**336 667**		**7 992**	**305 258**

NOTE 1:

Pour 1952 à 1984, le nombre est estimé comme suit: (B) et (C) = 35 % et 65 % de (A) respectivement, et (D) est estimé à 5 % de (B) dû aux essais de projectiles contenant des matériaux énergétiques avec fusée factices (sans moyen d'initiation). Cette pratique a cessé en 1985. (E) = 96 % de (D). Toutes ces estimations sont basées sur les chiffres de 1985 à 1991.

NOTE 2:

La colonne (F) est égale à la colonne (C) plus (E) moins les projectiles tirés dans une butte d'arrêt, sur plaque d'acier ou récupérés, estimé à 10 % pour les années 1952 à 1984.

4 Revue de littérature sur les matériaux énergétiques

Dans le cadre de l'étude en titre, une revue de la littérature portant sur les matériaux énergétiques et pertinente à la caractérisation de sédiments a été effectuée par le centre de Recherche et développement pour la défense Canada-Valcartier (RDDC-Val). La première partie de ce chapitre réfère à l'expertise générale du RDDC-Val dans la caractérisation de sites contaminés par des composés énergétiques et la seconde partie présente la revue de littérature complémentaire effectuée spécifiquement pour ce projet.

4.1 EXPERTISE ACQUISE

Dans un premier temps, certaines questions peuvent être résolues en tenant compte de l'expertise acquise depuis quelques années via la caractérisation de plusieurs sites militaires. Les projectiles tirés au CEEM peuvent être classés en deux catégories :

1. Projectiles inertes
    a) Ils ne contiennent aucune matière énergétique et peuvent être remplis de substituts constitués d'un mélange de cire («cire d'abeille»).
2. Projectiles contenant des matériaux énergétiques
    b) Ils sont remplis de matériaux énergétiques et doivent détoner. Si, exceptionnellement, ils ne détonent pas, ils sont alors considérés comme ratés (non détonés - « DUD'S »).
    c) Ils sont remplis de matériaux énergétiques (charge principale) mais n'ont pas de moyen d'initiation.
    d) Ils présentent seulement une composante énergétique (amorce, fusée, traceur pyrotechnique, propulseur).

En a: il faut déterminer la toxicité du matériel inerte utilisé.

En b (non détoné), c et d: on retrouve un projectile intact qui contient des composés énergétiques.

En b (si détonation): le matériel énergétique est atomisé, brûlé et dispersé sous forme de gaz. Des morceaux de l'enveloppe de métal (corps du projectile) sont dispersés au moment de l'explosion.

On peut ensuite répondre à certaines questions soulevées pour ces différents scénarios:

1) Devenir des matériaux énergétiques et des projectiles détonants lors d'une explosion à la surface de l'eau, sur la glace et à l'interface eau/sédiment (scénario b, si détonation).

La détonation est un processus qui fait intervenir l'atomisation et la combustion des produits présents dans la munition et conduit à la production de gaz. Toutes les recherches conduites jusqu'à maintenant indiquent que les produits gazeux résultant du contenu en matériaux énergétiques générés sont non nocifs et représentent à plus de 99,9 % de l'eau, du gaz carbonique et de l'azote (Headquarters U.S. Army Armement, Munitions and Chemical Command, 1992a, 1992b; U.S. Air Force, Air Combat Command, 1994). Nous avons caractérisé de manière très exhaustive le site de détonation extérieur (en milieu terrestre) de munitions le plus utilisé au Canada, situé à Dundurn en Saskatchewan. Une proportion importante des munitions canadiennes vétustes (90 %) est détruite par détonation sur ce site, et ce depuis plus de 25 ans. Les résultats obtenus corroborent le fait que la détonation est un procédé complet qui ne génère pas de résidus nocifs pour l'environnement (Ampleman *et al.*, 1998). Les composés énergétiques subissent une combustion complète pour donner des gaz non toxiques et les métaux (faisant partie de la composante énergétique) qui ont été atomisés ou pulvérisés se redéposent dans de très grands rayons de dispersion. D'autre part, dans le cas de munitions à fragmentation, les métaux constituant l'enveloppe métallique du projectile se retrouvent sous la forme de fragments déposés sur le sol. La caractérisation du site de Dundurn a permis de démontrer pour les sols et les eaux souterraines qu'aucun composé incluant les matériaux énergétiques, les métaux et plusieurs autres paramètres, ne dépasse les critères d'usage résidentiel et ce autant sur le site qu'en périphérie du site. De plus, des études récentes sur la relation entre la détonation et ses impacts environnementaux démontrent clairement que lors d'une détonation de premier ordre, la quantité de matériaux énergétiques non transformés est infinitésimale lorsque comparée à la quantité initiale d'explosifs contenue dans la charge détonée (Jenkins *et al.*, 2002).

2) Devenir des matériaux énergétiques en milieu aqueux sans explosion (scénario b (non détoné), c et d).

Plusieurs études s'intéressent au devenir environnemental des composés énergétiques. Les principaux explosifs que l'on retrouve dans la plupart des munitions sont le trinitrotoluène (TNT) également appelé tolite, le cyclo-1,3,5-triméthylène-2,4,6-trinitramine également appelé «hexogen», cyclonite ou encore «Research & Development Explosive» (RDX) et finalement le cyclo-1,3,5,7-tétraméthylène-2,4,6,8-tétranitramine également appelé «octogen», homocyclonite ou encore explosif à fusion élevée («High Melting Explosive», HMX). Le TNT est très sensible à la dégradation photochimique ou microbienne et de nombreux produits de transformation ont été identifiés (Walsh *et al.*, 1995). La principale impureté du RDX de qualité production est le HMX, dont la concentration peut aller jusqu'à 15 %. Les propriétés physico-chimiques de ces trois composés et des produits communs de la dégradation biotique et abiotique du TNT sont présentés au tableau 2. Le devenir environnemental de ces composés est lié à ces caractéristiques et au fait qu'ils peuvent se fixer sur certaines matrices de façon chimique ou physique ou encore se dégrader dans l'environnement. Ces contaminants organiques peuvent en effet être adsorbés sur les particules du sol sous l'effet d'interactions π-π hydrophobes et de Van der Waals ou subir une sorption chimique par réaction avec des acides fulviques ou humiques. Les contaminants fortement adsorbés seront plus difficiles à dégrader et à analyser que ceux qui le sont faiblement.

Les explosifs comme le TNT, le RDX et le HMX sont des composés cristallins. Comme on peut le voir au tableau 2, ils ont une faible pression de vapeur et une faible solubilité dans l'eau. À cause de leurs propriétés cristallines, ils sont dispersés de manière hétérogène dans les sols, rendant ainsi leur caractérisation difficile. Nous avons adapté les méthodes d'échantillonnage afin de tenir compte de ce facteur (Thiboutot *et al.*, 1997). En fonction de leur solubilité dans l'eau et de leur structure, les explosifs ont des comportements différents. Le TNT est plus soluble dans l'eau que le RDX, lui-même plus soluble que le HMX. Nous avons constaté que la cinétique de dissolution du TNT est plus rapide que celles du RDX et du HMX (qui est de loin le plus lent à se dissoudre). Le TNT est un composé nitroaromatique, alors que le RDX et le HMX sont des nitramines. Le TNT a tendance à se décomposer facilement par photolyse, ce qui n'est pas le cas du HMX ni du RDX. Il peut aussi se dégrader en 21 métabolites, chacun ayant une solubilité et une toxicité propre. Par exemple, les aminodinitrotoluènes, produits lors de la photolyse ou de la biodégradation du TNT, sont beaucoup plus solubles que ce dernier et peuvent

se lier de manière covalente à l'acide humique. Ces métabolites sont donc stabilisés par la formation d'un amide avec les composés organiques contenus dans le sol. De plus, les mécanismes de sorption par les sols argileux sont plus forts dans le cas du TNT et de ses métabolites que dans le cas du RDX et du HMX, qui sont très mal adsorbés par les sols argileux et certains autres sols (Haderlein, 1996; Li *et al.*, 1997; Pennington et Patrick, 1990; Townsend et Meyers, 1996).

Tableau 2

Propriétés physiques et chimiques des composés nitroaromatiques et des nitramines

Composé à analyser	Poids moléculaire	Point de fusion (°C)	Point d'ébullition (°C)	Solubilité dans l'eau (mg/L)	Pression de vapeur (torr, à 20 °C)
TNT	227,13	80,1-81,6	240 (explose)	130 à 20 °C	$1,1 \times 10^{-6}$
RDX	222,26	204,1	(se décompose)	42 à 20 °C	$4,2 \times 10^{-9}$
HMX	296,16	276-280	(se décompose)	5,0 à 25 °C	$3,3 \times 10^{-14}$
2,4-DNT	182,15	70	300 (se décompose)	270 à 22 °C	$2,2 \times 10^{-4}$
2,6-DNT	182,15	64-66		206 à 25 °C	$5,67 \times 10^{-4}$
2-ADNT	197,17	176		2 800	4×10^{-5}
4-ADNT	197,17	171		2 800	2×10^{-5}

Lorsqu'un sol est contaminé par ces trois explosifs, la situation devient donc plus complexe, car le RDX sera dispersé plus rapidement que le TNT, qui sera lui-même dispersé plus rapidement que le HMX. Le RDX, qui est plus soluble que le HMX et moins soluble que le TNT, se dispersera plus rapidement, car il n'est pas adsorbé par les sols. Le TNT qui est le plus soluble des trois devrait se disperser en premier, mais, comme nous l'avons déjà mentionné, il est fortement adsorbé par les minéraux argileux ou il se dégrade en métabolites qui, même s'ils sont plus solubles que le TNT, se lient de manière covalente à ces argiles. Ce procédé d'adsorption/désorption ralentit la vitesse de migration du TNT dans les sols. Étant pratiquement insoluble dans l'eau, le HMX a fortement tendance à rester à la surface des sols.

Il est donc important de considérer les interactions avec le sol au moment d'établir la disponibilité et l'extractabilité des explosifs. Le TNT est un explosif particulièrement difficile à caractériser, car il est facilement réduit pour former des produits de dégradation aminés, plus exactement du 2- et du 4-aminodinitrotoluène (ADNT) et du 2,4- et du 2,6-diaminonitrotoluène (DANT) et, dans des conditions anaérobies, du 2,4,6-triaminotoluène (TAT). La caractérisation des dérivés du TNT est importante, car la toxicité globale, la restauration, le transport et l'extractabilité du TNT dépendent grandement de ces composés. Les caractéristiques d'adsorption et de désorption du TNT et de ses métabolites sont des facteurs physiques importants devant être pris en considération lors de l'évaluation de la disponibilité de ces composés pour la dégradation microbienne et l'analyse physique.

Dans le cas qui nous intéresse, si une munition contenant des composés énergétiques est déposée à la surface des sédiments et qu'il y a une fuite, de faibles quantités d'explosifs seront dissoutes dans l'eau. Bien que la solubilité des composés en jeu est très faible, le fort contexte de dilution au lac Saint-Pierre déplacera l'équilibre vers la dissolution lente mais complète des composés qui seront entraînés dans le cours d'eau. Ces sources ponctuelles et de faibles quantités de composés ne permettront pas l'obtention d'une concentration mesurable de composés énergétiques dans l'eau. Cependant, des contacts ont été récemment initiés avec une compagnie américaine (Sandia International Laboratories) qui affirme détenir une technologie capable d'identifier si une munition submergée contient ou non des composés énergétiques. Nous avons récemment assisté à une démonstration de cette technologie dans le port d'Halifax. La technologie fait appel à une prise d'échantillon d'eau à proximité de la munition et à l'analyse par chromatographie ionscan de ce même échantillon. Plusieurs façons d'échantillonner ont été évaluées lors de l'exercice au port d'Halifax. L'avantage certain de cette méthode d'analyse réside dans le fait qu'elle est extrêmement sensible et est capable de détecter les explosifs au niveau du ppt. Avec ces limites de détection, la firme devrait être capable de détecter les fuites de composés énergétiques provenant d'une munition submergée non éclatée et devrait être en mesure d'affirmer si la munition contient ou non des matériaux énergétiques. Il faut mentionner ici que cette technologie est en développement et les résultats de cette campagne d'échantillonnage devraient être disponibles sous peu. Il se peut que cette technologie soit

applicable et disponible pour l'étude du lac Saint-Pierre. D'autre part, il a été démontré que la biodégradation d'explosifs en solution à de très faibles concentrations est très rapide (Thiboutot *et al.*, 1997) et que l'atténuation naturelle pourra ainsi jouer un rôle majeur dans le cas de composés subissant une grande dilution.

Dans le cas où la munition est enfouie sous une couche de sédiments, la situation est plus complexe. Compte tenu des facteurs de sorption décrits précédemment, la nature des sédiments pourrait jouer un rôle très important. Un équilibre entre la sorption et la dissolution des composés devrait s'établir. Un sédiment sablonneux devrait permettre et favoriser une dissolution lente alors qu'un sédiment argileux ou organique devrait favoriser une compétition entre l'absorption des composés et leur dissolution. Une analyse de la nature des sédiments en cause dans ce dossier sera ainsi requise afin d'établir quel scénario devrait être le plus plausible.

3) Paramètres d'analyse des sédiments (scénarios b (raté), c et d).

Le RDDC-Val et d'autres laboratoires ont adopté la méthode de chromatographie liquide à haute performance à phase inversée (CLHP-PI), publiée par l'«EPA Office of Solid Waste» sous le titre «SW846 Method 8330», pour analyser les explosifs nitroaromatiques et nitraminés dans les sols. Cette méthode est basée sur l'extraction au solvant des composés à analyser, à l'aide d'un traitement ultrasonique pour ceux contenus dans les sols et d'une extraction par cartouches pour ceux contenus dans des eaux souterraines, suivie d'une séparation par CLHP à régime isocratique et d'une détection UV. Les limites de détection de chacun des 15 composés (HMX, RDX, TNB, DNB, tétryl, NB, TNT, 2-ADNT, 4-ADNT, 2,6-DNT, 2,4-DNT, 3,5-dinitroaniline et les trois isomères du NT) qui sont analysés grâce à cette méthode sont de l'ordre du ppm pour les sols et du ppb pour l'eau. Cette analyse devrait être effectuée sur les sédiments à haut risque de contamination pour tous les échantillons pris dans les zones ciblées de fortes densités de munitions. De plus, la présence de métaux devrait être vérifiée par un balayage à plasma afin d'évaluer l'impact de la présence des nombreuses munitions à enveloppes métalliques. Enfin, la présence potentielle de plomb et de mercure devra être évaluée compte tenu de la composition de certains explosifs primaires (azoture de plomb et fulminate de mercure).

4) Risque de contamination par les munitions inertes à la «cire d'abeille» (scénario a).

Une fiche de composition de munitions inertes a été acheminée au RDDC-Val. Cette fiche indique la présence de plusieurs composés dont: Kaolin, paraffine (cire), sulfate de barium, lécithine, «lead shot-N-5» et métaux (tungstène, fer). Le Kaolin est une argile de silicate d'aluminium hydraté non toxique. La paraffine est composée d'hydrocarbures solides non toxiques utilisés dans la mise en conserve d'aliments. Le sulfate de barium est non toxique et utilisé en médecine/radiographie. La lécithine ou phosphatidylcholine est retrouvée dans tous les organismes vivants et est non toxique. Du plomb peut se retrouver en petites quantités dans des projectiles remplis de paraffine afin d'ajuster leur poids à celui d'un projectile rempli de matériaux énergétiques. Il existe des critères de risques associés au plomb et ce paramètre devra être inclus dans les analyses de sédiments.

4.2 ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LA PRÉSENCE DE MATÉRIAUX ÉNERGÉTIQUES, MÉTAUX ET AUTRES SUBSTANCES DANS LES SÉDIMENTS À PROXIMITÉ DE PROJECTILES EN MILIEU AQUATIQUE: REVUE DE LITTÉRATURE COMPLÉMENTAIRE.

Afin de compléter les données et de vérifier l'état des connaissances dans le domaine de la caractérisation de sédiments de champs de tirs en milieu aquatique, nous avons effectué une revue de la littérature récente. Cette revue a été conduite dans les deux banques de données les plus pertinentes soit DSIS (littérature de la défense) et CA («Chemical Abstracts»). La revue a été effectuée en utilisant les mots clés: TNT, RDX, HMX, «nitramine», «energetic», «energetic materials» et munition, jumelés avec «sediments». Ceci a conduit à l'identification de 123 références potentiellement intéressantes. Cette liste préliminaire a été présentée au comité technique et nous nous sommes entendus pour commander 18 articles ou documents. La grande majorité des références n'est pas directement reliée au cas du lac Saint-Pierre mais traite des composés énergétiques présents dans les sédiments de lagons de sites de production (Boggavarapu *et al.*, 1996; Brannon *et al.*, 1992; Brannon et Myers, 1997; Cragin *et al.*, 1985; Criscenti, 1995; Eriksson, 1997; Kirshenbaum, 1982; Major et Amos, 1992; Pfeffer *et al.*, 1985;

Serna *et al.*, 1990; Spanggord *et al.*, 1982; U.S. EPA 1991, 1993, 1997; Van Beelen et Burris, 1995; Voudrias et Assaf, 1996; Weeks et Simpson, 1991; Wentsel *et al.*, 1981; Williams *et al.*, 1988; Young et Weber, 1995). Ceci représente une toute autre problématique, mais de l'information pertinente peut toutefois y être glanée.

Parmi ces références une seule est directement reliée au dossier de la caractérisation des sédiments du lac Saint-Pierre (Darrach *et al.*, 1998). Cette référence est récente, très pertinente et réfère à des travaux effectués dans le port de Halifax au Canada. Des échantillons de sédiments ont été prélevés près de sept munitions non détonées situées au fond du port par des plongeurs des forces armées. Les analyses ont été effectuées par une méthode nommée «READ» pour «Reversal Electron Attachement Detection» qui est très sensible à la présence de composés énergétiques (ppt). De faibles traces d'explosifs (ppb) ont été identifiées dans trois cas sur sept. Les résultats positifs ont été confirmés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. Ceci indique qu'il peut exister un très faible apport en composés énergétiques par une exudation très lente de ces composés dans l'environnement pour des munitions qui n'ont pas détoné, après près de 50 ans de repos en milieu aquatique.

La contamination de lagons d'anciens sites de production est traitée par plusieurs auteurs (Brannon *et al.*, 1992; Brannon et Myers, 1997; Cragin *et al.*, 1985; Criscenti, 1995; Eriksson, 1997; Major et Amos, 1992; Pfeffer *et al.*, 1985; Serna *et al.*, 1990; Spanggord *et al.*, 1982; U.S. EPA 1991, 1993, 1997; Van Beelen et Burris, 1995; Voudrias et Assaf, 1996; Wentsel *et al.*, 1981; Williams *et al.*, 1988; Young et Weber, 1995). Ces sédiments sont fortement contaminés et il n'y a pas de munitions non détonées sur ces sites. D'autres études (Brannon *et al.*, 1992; Brannon et Myers, 1997; Eriksson, 1997; Spanggord *et al.*, 1982; Young et Weber, 1995) traitent du devenir environnemental des composés énergétiques et des phénomènes de sorption/désorption. Brannon et Myers (1997) présentent une très bonne revue synthèse des phénomènes de devenir environnemental des explosifs. Spanggord *et al.* (1982) décrivent les phénomènes dominants de transport et de transformation du HMX dans un environnement aquatique. Les transports physiques tels que volatilisation, sorption sur sédiment et biosorption ont été trouvés négligeables. La photolyse et la biotransformation soit aérobique ou anaérobique ont été identifiées comme les mécanismes prioritaires de transformation en milieu aquatique pour

le HMX. Les observations tirées d'une étude sur la sorption/désorption du TNT (Eriksson, 1997) de sédiments de la mer Baltique n'ont pas permis de tirer des conclusions claires quant à l'effet de l'environnement sur les phénomènes d'adsorption sur des sédiments. Ce rapport confirme la grande complexité des phénomènes de sorption-désorption pour le trinitrotoluène.

Plusieurs références traitent de la restauration de sédiments fortement contaminés et ne sont pas pertinentes au présent projet (Cragin *et al.*, 1985; Criscenti, 1995; Major et Amos, 1992; Pfeffer *et al.*, 1985; Serna *et al.*, 1990; U.S. EPA 1991, 1993, 1997; Van Beelen et Burris, 1995; Voudrias et Assaf, 1996; Wentsel *et al.*, 1981; Williams *et al.*, 1988). Boggavarapu *et al.* (1996) décrivent une méthode d'extraction des sédiments. L'article de Weeks et Simpson (1991) présente peu d'intérêt; il traite de l'étude de particules en suspension dans un fond océanique. Enfin, Kirshenbaum (1982) décrit la réactivité de mélanges sédiments/explosifs et donne des seuils d'explosivité.

En conclusion, l'expertise acquise ainsi que la littérature confirment le fait que les concentrations attendues en composés énergétiques dans les sédiments du lac Saint-Pierre sont nulles ou très faibles. De plus, la littérature démontre que le devenir environnemental des composés énergétiques est complexe et très spécifique au site étudié. La revue de littérature démontre que très peu d'études de cette nature ont été effectuées jusqu'à maintenant et que la caractérisation des sédiments du lac Saint-Pierre pourra devenir une étude de référence dans le domaine.

5 Campagne de pré-échantillonnage

Suite à la réalisation de la description biophysique du secteur, d'un historique des activités de tir et d'une revue de littérature sur les matériaux énergétiques, une campagne de pré-échantillonnage a été réalisée au mois d'octobre 1999. Les principaux objectifs visés par cette étude préliminaire étaient de:

1) mettre au point le protocole d'échantillonnage des sédiments en fonction des appareils utilisés, des volumes nécessaires, du contrôle de la qualité et des mesures de sécurité;
2) évaluer le temps nécessaire aux fins de prélèvement des échantillons en vue de la campagne principale prévue pour le printemps 2000;
3) faire une reconnaissance des zones à échantillonner (zones d'impacts et sites de comparaison) et prélever un échantillon dans chaque zone pour fins de validation (analyses pour granulométrie, matières organiques totales et matière sèche) et
4) mesurer les paramètres physico-chimiques *in situ* à chacune des 19 stations.

5.1 ÉCHANTILLONNAGE

Les travaux d'échantillonnage réalisés dans le cadre de la phase préliminaire de l'étude de caractérisation des sédiments du champ de tir du MDN au lac Saint-Pierre ont eu lieu entre le 25 et le 28 octobre 1999. La localisation des 19 stations retenues (figure 5) a été préalablement déterminée en fonction de l'historique des essais de munitions (chapitre 3), de la profondeur ainsi que des caractéristiques physiques (hydrologie, dépôts de surface) et biologiques (herbiers aquatiques) du milieu (chapitre 2). Les stations situées dans les zones où les opérations de tir pourraient avoir causé un impact potentiel représentent des zones où la concentration en projectiles devrait être élevée selon les données historiques. Au contraire, l'emplacement des stations dites «de comparaison» a été déterminé dans des zones où la présence de projectiles est peu probable et dont les caractéristiques biophysiques semblaient similaires à celles des zones impactées.

Au total, 20 échantillons de sédiments ont été prélevés (dont un réplicat à la station C3), par des plongeurs artificiers, à l'aide d'une petite benne Ponar. Le contenu de la benne était vidé

dans un bac en polyéthylène. Les sédiments homogénéisés étaient ensuite transférés dans un seau de cinq litres en polyéthylène doublé de deux sacs de grade « qualité alimentaire ». La procédure d'échantillonnage détaillée est expliquée à l'annexe 4. De façon générale, un échantillon de volume suffisant (environ 2 kg - poids humide) de sédiments (premiers 10-15 cm) était récolté à partir d'un seul coup de benne. Un deuxième coup de benne a été nécessaire dans le cas de trois échantillons (P1, P8, C2). Les coordonnées des stations ont été prises à l'aide d'un GPS en mode différentiel et sont présentées au tableau 3.

À chaque station, la température (°C), l'oxygène dissous (mg/L), la conductivité (µS/cm) et le pH ont été enregistrés à 0,5 m du fond à l'aide d'une multisonde Hydrolab (modèle H_2O). Le pourcentage de saturation en oxygène a été calculé à l'aide de l'abaque de Wetzel (1975). La profondeur (m) de la station a été déterminée avec l'échosondeur de l'embarcation (*J.R. Pinard*) et validée avec le profondimètre des plongeurs.

5.2 PROGRAMME DE SANTÉ ET DE SÉCURITÉ

Les projectiles non détonés constituent une entrave à la caractérisation sécuritaire de la zone de tir. Les instructions permanentes d'opération (annexe 5), préparées par le MDN, présentent le programme de santé et sécurité, les mesures prévues en cas d'urgence, les procédures à respecter pour les communications et les différentes étapes à suivre par les plongeurs pour sécuriser le site.

5.3 MÉTHODES ANALYTIQUES

L'analyse granulométrique des 20 échantillons de sédiments a été effectuée au Laboratoire de services spécialisés MBF ltée par hydrométrie et tamisage (Écotoxicologie et chimie environnementale, Laboratoire régional - Québec, 1995). La composition en pourcentage des différentes fractions granulométriques a été calculée en fonction de la classification de Wentworth: gravier (> 2 mm), sable (62,5 µm à 2 mm), limon (3,9 à 62,5 µm) et argile (< 3,9 µm). Afin d'obtenir une description qualitative de la texture, les résultats de la classification de Wentworth ont servi à classer les échantillons selon la nomenclature de Shepard

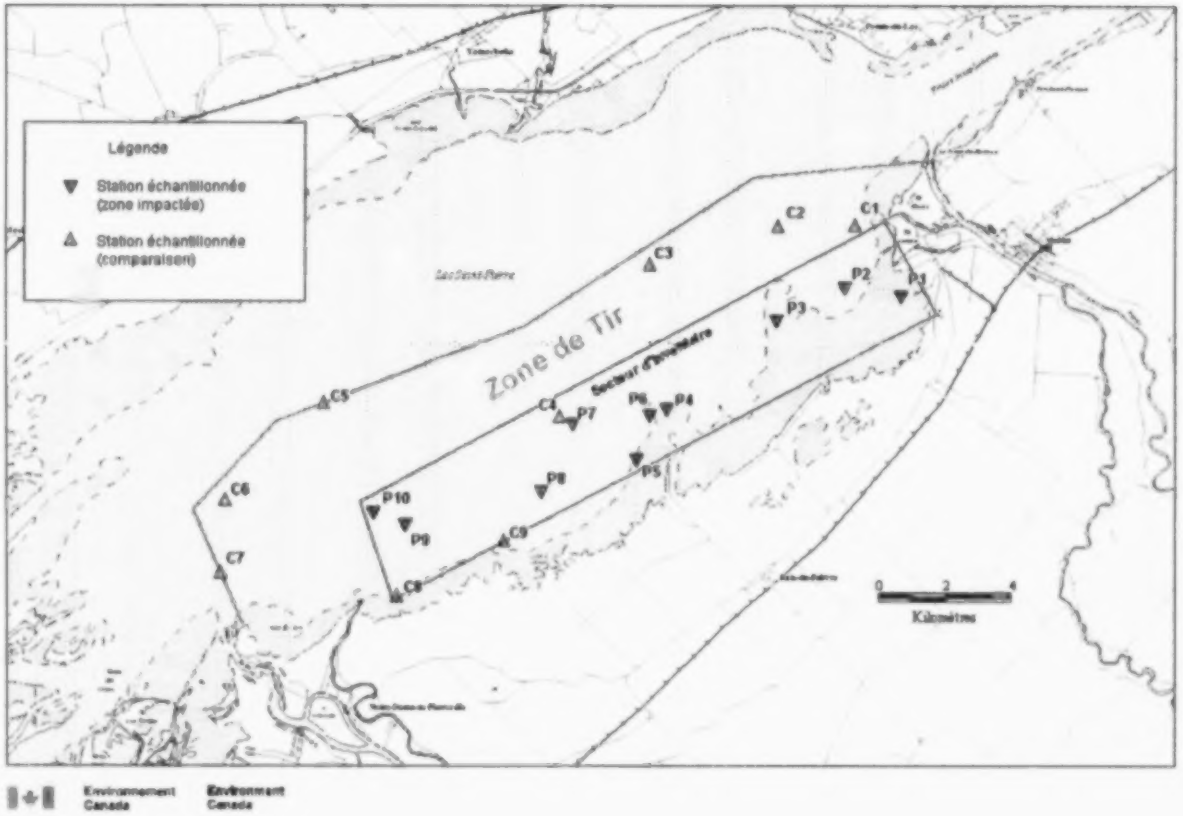


Figure 5 Localisation des stations échantillonnées lors de la campagne de pré-échantillonnage (octobre 1999)

Tableau 3

Localisation des stations échantillonnées lors de la campagne de pré-échantillonnage (octobre 1999)

Station	Longitude*	Latitude*	Date	Heure
C1	72°40,89'	46°13,99'	25/10/99	14:30
C2	72°42,68'	46°13,96'	25/10/99	16:00
C3	72°45,67'	46°13,35'	28/10/99	09:10
C4	72°47,75'	46°10,93'	26/10/99	11:05
C5	72°53,26'	46°11,13'	26/10/99	12:00
C6	72°55,58'	46°09,59'	26/10/99	12:55
C7	72°55,68'	46°08,42'	26/10/99	13:30
C8	72°51,56'	46°08,04	26/10/99	14:45
C9	72°49,06'	46°08,92'	27/10/99	11:25
P1	72°39,81'	46°12,82'	28/10/99	07:40
P2	72°41,10'	46°12,97'	26/10/99	09:15
P3	72°42,69'	46°12,43'	26/10/99	10:00
P4	72°45,27'	46°11,01'	27/10/99	14:38
P5	72°45,96'	46°10,22'	27/10/99	14:10
P6	72°45,65'	46°10,92'	27/10/99	13:44
P7	72°47,46'	46°10,79'	27/10/99	13:15
P8	72°48,19'	46°09,70'	27/10/99	12:40
P9	72°51,38'	46°09,17'	27/10/99	09:30
P10	72°52,10'	46°09,36'	26/10/99	14:15

* système géodésique NAD27

(1954). La détermination des matières organiques totales, par incinération selon la méthode MA/2 du Conseil des productions végétales du Québec (annexe 6), ainsi que des matières sèches, méthode 2540-G (APHA, 1995), ont été effectuées par le laboratoire Labexcel inc.

5.4 ANALYSES STATISTIQUES

Toutes les données recueillies ont été saisies sur fichier informatique (Excel, version 7,0).

Une méthode d'analyse statistique multivariée permettant de créer des ensembles d'échantillons homogènes a été utilisée afin de regrouper les stations échantillonnées en fonction de leurs caractéristiques granulométriques et de leurs teneurs en matières organiques et en matières sèches. Les groupements ont été faits par agglomération hiérarchique, selon l'association moyenne. Tous ces tests ont été réalisés à l'aide du logiciel SYSTAT (version 7,01).

5.5 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le tableau 4 contient les données validées des mesures physico-chimiques (profondeur, température, saturation en oxygène, conductivité et pH) effectuées au moment de l'échantillonnage. Les températures mesurées aux différentes stations varient entre 4,7 °C et 10,2 °C. Les écarts de température peuvent être attribuables aux conditions climatiques au moment de l'échantillonnage, de même qu'à la profondeur de la station. Le pourcentage de saturation en oxygène se situe entre 116 et 140 %. Le pH de l'eau varie entre 7,44 et 8,58. Les plus fortes valeurs de conductivité (> 300 µS/cm) ont été mesurées aux stations localisées vers le centre du lac, en bordure de la voie navigable. La physico-chimie de l'eau y est caractéristique des eaux vertes fortement minéralisées du fleuve Saint-Laurent. L'eau aux autres stations de la rive sud est également principalement influencée par les eaux vertes en provenance des Grands Lacs. Les valeurs de conductivité mesurées sont toutefois un peu plus faibles compte tenu de l'influence des apports des tributaires (Désilets et Langlois, 1989). La profondeur moyenne des stations échantillonnées en zones impactées (P) est 2,0 m (de 1,5 à 2,8 m). Elle est 2,3 m (0,9 à 3,1 m) pour les stations de comparaison (C).

Le tableau 5 présente les résultats des analyses granulométriques ainsi que de la détermination des matières sèches et des pourcentages de matières organiques totales. On constate que le sable domine à toutes les stations de comparaison ainsi qu'à 50 % des stations localisées dans les zones d'impact. Dans presque tous les cas, le limon représente la deuxième fraction dominante. Les types de sédiments retrouvés aux stations des zones impactées montrent une variation plus importante (sédiments mixtes, limon sablonneux, sable, sable limoneux) que dans les zones de comparaison que l'on peut pratiquement toutes classer dans les catégories «sable» ou «sable limoneux». De façon générale, les stations où les particules fines représentent

plus de 50 % des sédiments (P1, P2, P3, P5, P7 et P10) se retrouvent dans la zone où les impacts sont les plus probables, au centre et en bordure (sud) de la zone d'étude. Seule la station P1 démontre un pourcentage d'argile > 50 %. Le pourcentage de matière sèche varie entre 62 et 83 % (75 % en moyenne) pour les stations de comparaison et entre 52 et 79 % (68 % en moyenne) pour les stations en zones d'impact. À toutes les stations, le pourcentage en matières organiques totales est relativement faible. Les valeurs mesurées varient entre 0,5 et 2,8 %. À titre de comparaison, Hardy *et al.*(1991) ont mesuré des valeurs comprises entre 1,0 et 7,0 % dans le secteur nord du lac Saint-Pierre en 1986.

Deux échantillons (C3 et C10) ont été récoltés à une même station dans le but de vérifier, à l'aveugle, le degré de reproductibilité des analyses effectuées en laboratoire (granulométrie, matières sèches et organiques). Pour ce faire, le coefficient de variation (écart-type relatif) a été calculé à partir de l'écart-type et de la moyenne pour chacun des paramètres (tableau 6). De façon générale, la reproductibilité observée est très bonne. Le coefficient de variation relatif à la détermination des matières organiques totales est plus élevé. Ceci s'explique par les faibles valeurs mesurées dans les échantillons de sédiments pour ce paramètre, particulièrement à cette station.

Les résultats de l'analyse de groupement hiérarchique sont présentés au tableau 7. La fraction de sable en présence aide à discriminer les différents groupes de stations: environ 22 % pour le groupe A, entre 41 et 54 % pour le groupe B, entre 62 et 75 % pour le groupe C et finalement > 81 % pour le groupe D. Les groupements A et B incluent les stations où plus de 46 % des sédiments sont classés fins (limon et argile). Exception faite du groupe A, des stations de comparaison et en zones impactées se retrouvent dans tous les groupes. Cependant, à la lecture des résultats, et si l'on fait abstraction de la fraction sable, on observe une tendance similaire de la répartition argile/limon de la station P1 avec celles des stations P2 et P5 ainsi que de la station P10 avec P7.

Tableau 4

Variables physico-chimiques mesurées lors de la campagne de pré-échantillonnage (octobre 1999)

Station	Profondeur (m)	Température (°C)	Saturation en oxygène (%)	Conductivité (µS/cm)	pH
C1	1,2	5,7	125	185	8,58
C2	3,0	8,0	127	330	7,74
C3	3,1	8,8	140	nd	7,66
C4	2,9	6,4	126	202	7,52
C5	2,7	10,2	123	331	7,80
C6	2,0	10,0	125	336	7,81
C7	2,6	9,6	122	341	7,74
C8	0,9	6,2	127	140	7,52
C9	1,9	5,6	135	nd	7,73
P1	1,5	4,7	116	nd	7,51
P2	1,8	5,1	117	187	7,44
P3	1,8	5,8	122	208	7,56
P4	1,7	6,3	135	nd	7,78
P5	2,0	6,2	136	nd	7,73
P6	1,5	6,0	140	nd	7,81
P7	2,3	6,1	134	nd	7,70
P8	1,5	6,0	129	nd	7,64
P9	2,6	5,4	135	nd	7,55
P10	2,8	6,7	122	238	7,56

Tableau 5

Résultats des analyses des échantillons de sédiments: matière sèche, matières organiques totales et granulométrie

Échantillon	C1	C2	C3	C10[1]	C4	C5	C6	C7	C8	C9	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Matière sèche (%)	83	77	78	80	73	62	74	71	75	75	52	60	60	74	61	78	79	78	72	66
Matières organiques totales (%)	0,5	0,6	0,6	0,9	0,6	1,8	1,0	1,2	1,6	1,2	2,2	2,1	2,8	0,6	1,4	0,7	0,7	0,6	1,5	2,0
Classification de Wentworth																				
Argile (%)	1,4	9,8	1,9	1,6	18,7	11,0	2,2	6,8	0,5	0,8	54,3	42,7	5,5	0	41,2	0,2	11,0	0	3,2	15,6
Limon (%)	14,3	16,4	9,7	8,4	17,1	35,1	24,4	18,4	25,0	3,8	24,2	15,4	50,6	1,9	16,7	2,6	42,0	4,0	23,1	61,7
Sable (%)	81,5	73,8	88,4	90,0	61,8	53,9	73,4	74,8	74,5	94,0	21,5	41,5	43,9	98,1	40,7	97,2	46,0	94,6	66,5	22,7
Gravier (%)	2,8	0	0	0	2,4	0	0	0	0	1,4	0	0,4	0	0	1,4	0	1,0	1,4	7,2	0
Classification de Shepard (S = sable; SL = sable limoneux; M = sédiments mixtes; LS = limon sablonneux)	S	SL	S	S	M	SL	SL	SL	SL	S	M	M	LS	S	M	S	SL	S	SL	M

[1] Réplicat de C3

Référence: Labexcel inc. (2000)

Tableau 6

Résultats des calculs effectués dans le cadre du contrôle de la qualité

Échantillon / Paramètre	C3	C10	Moyenne	Écart-type	Coefficient de variation (%)
Matières sèches (%)	78	80	79	1,41	1,79
Matières organiques totales (%)	0,6	0,9	0,8	0,21	28,28
Granulométrie Classification de Wentworth					
Argile (%)	1,9	1,6	1,8	0,21	12,12
Limon (%)	9,7	8,4	9,0	0,92	10,16
Sable (%)	88,4	90,0	89,2	1,13	1,27

Tableau 7

Groupements des stations obtenus par analyse de groupement hiérarchique effectuée en fonction des caractéristiques granulométriques et des teneurs en matières organiques et sèches

Groupe	Stations
A	P1 - P10
B	C5 - P2 - P3 - P5 - P7
C	C2 - C6 - C7 - C8 P9 - C4
D	P4 - P6 - P8 - C9 C3 (C10) C1

5.6 BILAN

La campagne de pré-échantillonnage a permis la mise au point d'un protocole d'échantillonnage sécuritaire et efficace des sédiments du secteur du champ de tir du MDN au lac Saint-Pierre. Les analyses granulométriques, de matières sèches et organiques ainsi que les paramètres physico-chimiques mesurés ont permis l'identification et la validation de quelques stations de comparaison potentielles. Le sable domine dans la majorité des stations. Le limon constitue la deuxième fraction dominante. La majorité des stations situées au centre de la zone d'étude (stations en zones d'impact) présentent un pourcentage de particules fines plus important que les stations de comparaison situées au pourtour de la zone. Trouver des stations de comparaison localisées dans un emplacement représentatif et comparable au milieu des stations des zones impactées n'est pas une mince tâche. Compte tenu des résultats de l'historique de tirs, le pourtour de la zone de tir a été privilégié pour la recherche de zones de comparaison. Il est bien évident que les conditions retrouvées du côté de la voie navigable sont différentes de celles caractérisant un milieu riverain où l'influence des tributaires peut être marquée.

6 Inventaire géophysique

La revue historique des activités du CEEM (chapitre 3) a permis d'identifier une zone d'utilisation plus intensive à l'intérieur de la zone de tir de 160 km^2, zone CYR 606 (figure 4). Cette zone de concentration des essais était d'environ 54 km^2. À l'intérieur de cette zone, l'inventaire géophysique devait permettre d'y préciser la répartition des projectiles afin d'identifier les principaux sites d'impacts et d'orienter les efforts d'échantillonnage des sédiments. *Hyd-Eng Geophysics Inc.* a effectué des levés géophysiques de reconnaissance en deux phases. La phase I a été conduite sur glace du 13 février au 15 mars 2000 et la phase II a été réalisée sur l'eau, entre le 4 et le 26 mai 2000. Suite aux résultats de la première phase, la superficie de la zone des levés a été augmentée à 71,2 km^2. Le présent chapitre se veut un bref résumé du rapport final préparé par Hyd-Eng (Hyd-Eng Geophysics Inc., 2000).

6.1 MÉTHODOLOGIE

Une approche basée sur la magnétométrie était toute indiquée compte tenu de la prépondérance de l'acier dans les projectiles. Les levés ont été réalisés à l'aide d'un agencement de quatre magnétomètres au césium espacés d'un mètre et disposés perpendiculairement à la direction de leur remorquage. Ces appareils, plus rapides et plus sensibles que les magnétomètres usuels, mesurent de manière passive les variations du champ magnétique terrestre causées par des objets ferreux (anomalies magnétiques). Le remorquage était assuré par un véhicule sur chenille lors de la phase I et par un bateau lors de la phase II, les magnétomètres étant fixés tantôt sur un traîneau, tantôt dans des kayaks. Chaque ligne de levés couvrant quatre mètres de largeur, l'inventaire a permis d'atteindre une couverture de 12,5 % de la zone à raison d'une ligne de levés à tous les 32 mètres. Au total, l'équivalent de 8 045 kilomètres de données ont été recueillis. Le positionnement des levés était assuré en temps réel par un système GPS en mode différentiel couplé à un logiciel de navigation.

6.2 CALIBRATION ET TRAITEMENT DE DONNÉES

Des levés de calibration ont été réalisés pour prédire la réponse magnétique des principaux types de projectiles (75 mm, 105 mm et 155 mm) qui reposent au fond du lac. Ces tests ont été fait avec des projectiles récupérés dans la zone de tir. Les signaux mesurés pouvant également être attribuables à des fragments de projectiles et/ou autres débris ferreux, les données ont été filtrées et traitées pour ne retenir que les anomalies magnétiques sensées être associées à des projectiles. L'amplitude et la largeur du «signal» de chaque anomalie ont ainsi été utilisées pour calculer un paramètre appelé «masse magnétique», lequel est proportionnel au volume de matériel magnétique présent dans l'anomalie. La masse magnétique a ensuite été utilisée pour établir des seuils permettant d'exclure les anomalies susceptibles de correspondre à des débris ou à des petits fragments. Le nombre et la répartition des projectiles pour l'ensemble de la zone des levés ont été évalués par extrapolation puis cartographiés. Des levés détaillés, d'une couverture de 100 %, ont été effectués sur huit sous-secteurs de 4800 m^2 chacun afin de les comparer aux estimations réalisées à partir des lignes de levés.

6.3 RÉSULTATS

On estime que 250 576 sources magnétiques de masse équivalente ou supérieure à des projectiles de 75 mm se retrouvent au fond du lac à l'intérieur de la zone de levés. La figure 6 présente la répartition de ces sources magnétiques. On peut y discerner les principaux sites d'impact, ce qui a permis de mieux orienter l'échantillonnage des sédiments (chapitre 7). Il semble par ailleurs que les projectiles soient répartis sur une surface beaucoup plus grande que ce qui était anticipé, et que certains pourraient se trouver à l'extérieur de la zone de levés. Ces derniers, ainsi que les projectiles enfouis trop profondément, fragmentés ou de calibre inférieur à 75 mm n'auront pas été considérés dans le bilan. À l'opposé, certaines sources comptabilisées et cartographiées pourraient ne pas correspondre à des projectiles. Ce pourrait être le cas d'artefacts ferreux (p.ex.: petite ancre, hélice) ou simplement de gros fragments de projectiles. Selon les données historiques (chapitre 3), on évalue à environ 300 000 le nombre de projectiles dirigés dans la zone d'étude.

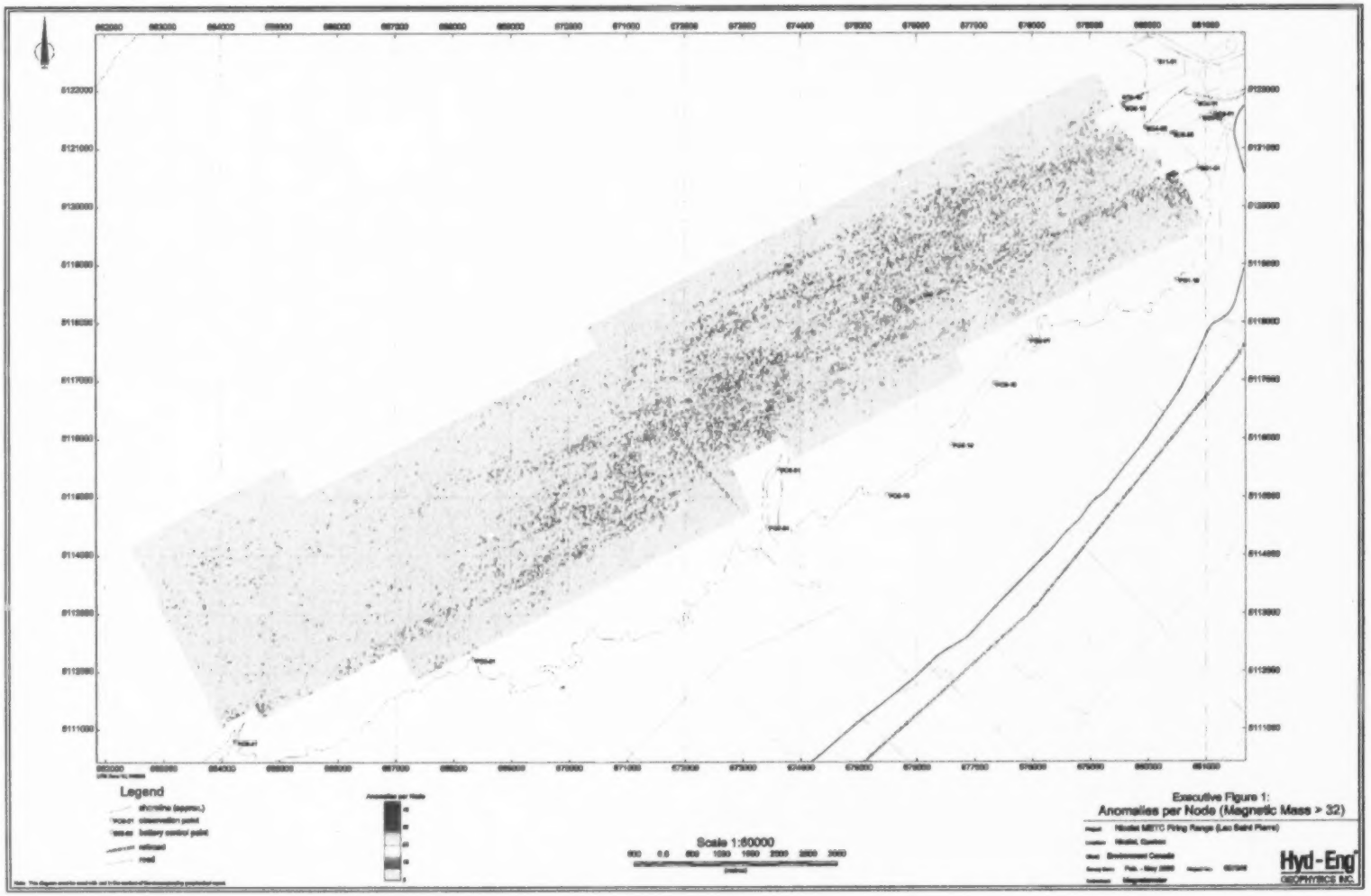


Figure 6 **Répartition des anomalies magnétiques (hiver et printemps 2000)**

7 Campagne principale d'échantillonnage

Les informations présentées au chapitre 5 (campagne de pré-échantillonnage) ainsi qu'au chapitre 6 (inventaire géophysique) étaient essentielles à la planification des activités de terrain de la campagne principale d'échantillonnage. Les travaux réalisés lors de la campagne de pré-échantillonnage ont permis la mise au point d'un protocole d'échantillonnage sécuritaire, fiable et efficace des sédiments de la zone de tir du MDN au lac Saint-Pierre. Les analyses effectuées et les paramètres mesurés ont permis l'identification et la validation des stations de comparaison potentielles. Les levés géophysiques ont donné une meilleure précision de la répartition des projectiles à l'intérieur de la zone d'étude et ont été utiles pour orienter la stratégie d'échantillonnage des sédiments. Ce chapitre présente les résultats obtenus lors de ce qui a été convenu d'appeler la campagne principale d'échantillonnage qui avait pour objectif de répondre à la question suivante: la qualité chimique des sédiments du lac Saint-Pierre à l'intérieur de la zone de concentration des essais est-elle affectée par la présence de projectiles et/ou de leurs débris?

7.1 ÉCHANTILLONNAGE

La campagne principale d'échantillonnage s'est déroulée du 29 mai au 14 juin 2000. Au total, 74 stations ont été visitées (figure 7) et 80 échantillons furent récoltés. À chaque station, la position a été enregistrée avec un DGPS (annexe 7). Essentiellement, une fois la station sécurisée par des plongeurs artificiers, les échantillons étaient récoltés par ces derniers à l'aide d'une benne manuelle (petite benne *Ponar*). Le contenu de la benne était vidé dans un bac en acier inoxydable. Les sédiments étaient ensuite transférés dans un seau de 10 ou 20 L en polyéthylène renfermant deux «ice pack» et doublé de deux sacs de grade « qualité alimentaire ». La procédure d'échantillonnage est détaillée à l'annexe 8. La description des échantillons de sédiments ainsi que la mesure des variables physico-chimiques de l'eau ont été effectuées par l'équipe d'Environnement Canada. De façon générale, trois coups de benne ont été nécessaires pour l'obtention d'un volume de sédiments suffisant (4 L). La stratégie et l'élaboration du plan d'échantillonnage sont discutées ci-après.

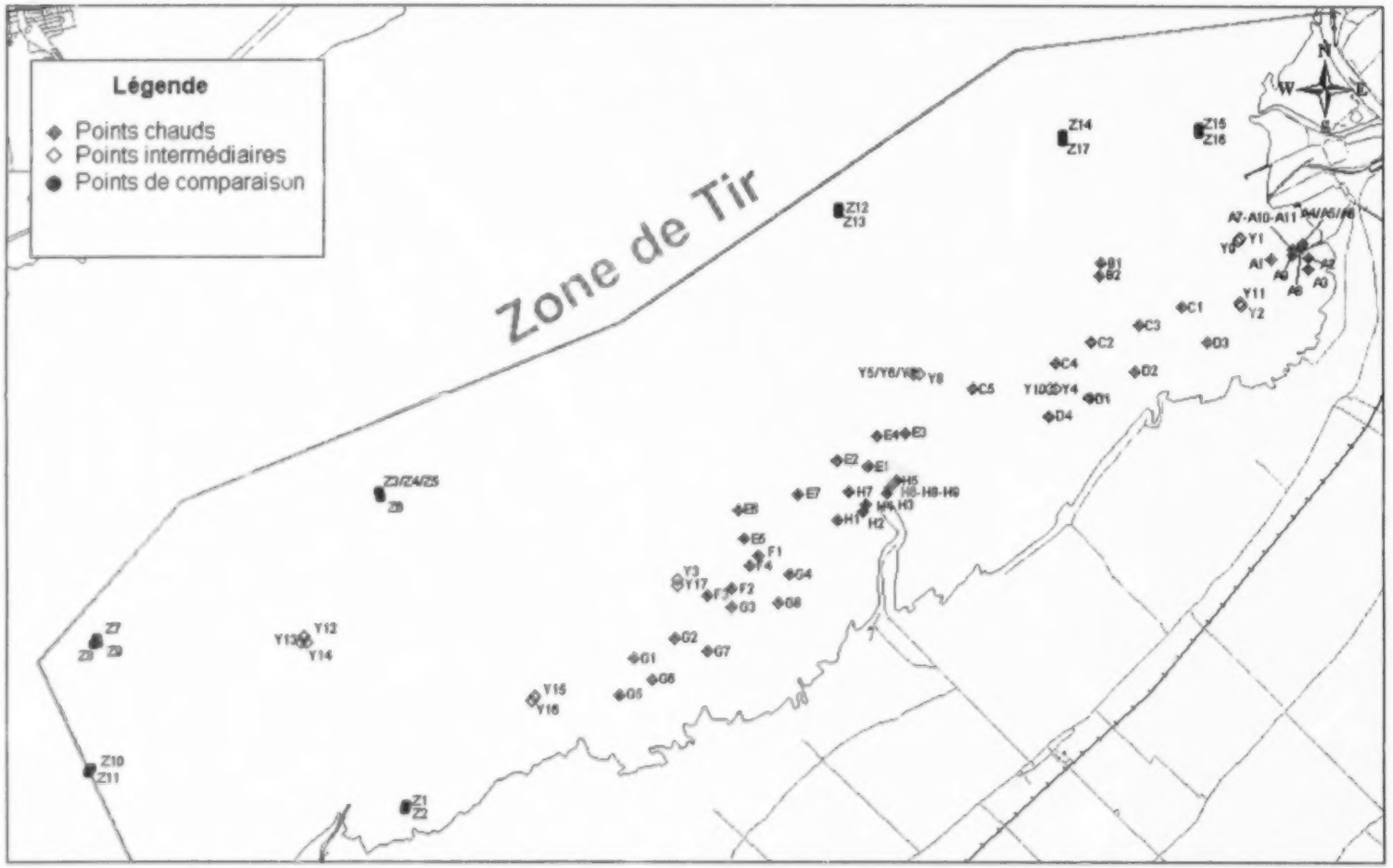


Figure 7 Localisation des stations échantillonnées lors de la campagne principale d'échantillonnage (printemps 2000)

7.1.1 Stratégie d'échantillonnage

Il n'existe pas de données historiques sur la qualité des sédiments de la portion sud du lac Saint-Pierre permettant de connaître la variabilité naturelle des différents paramètres visés par cette étude. Cette information constitue un élément important pour la mise au point d'une stratégie d'échantillonnage optimale. La stratégie d'échantillonnage de la présente étude a donc été développée en grande partie à partir des données de caractérisation des sédiments de la partie nord du lac, qui datent de 1986, en complément aux informations tirées de la campagne de pré-échantillonnage (automne 1999) et de l'inventaire géophysique (hiver/printemps 2000).

7.1.1.1 Données de 1986 (nord du lac Saint-Pierre)

Parmi les données de l'étude réalisée en 1986 dans la moitié nord du lac Saint-Pierre, le mercure est le contaminant mesuré dans les sédiments démontrant la plus grande variabilité, avec un coefficient de variation de 66 % et une distribution presque normale (Hardy et *al.*, 1991). Cette variabilité ne dépend pas de la distance, du moins pour les échantillons séparés de plus de 1,5 km, aucune paire n'étant plus rapprochée. Hardy *et al.* (1991) ne font pas mention de mesures faites en duplicata. Les calculs pour déterminer le nombre d'échantillons requis (analyse de puissance) ont été basés sur ces données (mercure).

7.1.1.2 Données de 1999 (sud du lac Saint-Pierre)

La campagne de pré-échantillonnage avait permis le prélèvement d'échantillons aux principaux sites d'impacts appréhendés - déterminés à partir de la revue historique des essais de munitions - ainsi qu'à neuf stations de comparaison sélectionnées en fonction des caractéristiques biophysiques de la zone d'étude. L'analyse de la granulométrie des échantillons et de leur contenu en matières organiques et en matières sèches devait permettre de vérifier la «compatibilité» des sites de comparaison avec les sites d'impacts. Des analyses de groupement basées sur ces variables ont permis de former des associations mixtes comportant des sites de comparaison et des sites d'impacts (chapitre 5). Toutefois, ces groupes ne reflétaient pas la proximité géographique des stations. Il n'était donc pas souhaitable de jumeler les sites de comparaison et les sites d'impacts sur la base du profil de ces variables. Ces mesures préliminaires ont par contre été utiles pour démontrer l'équilibre du plan d'échantillonnage, c'est-à-dire pour vérifier que les

sites de comparaison et les sites d'impacts présentaient «en moyenne» des caractéristiques biophysiques semblables. La majorité des sites de comparaison visités en 1999 se sont donc avérés adéquats du point de vue de la granulométrie et du contenu en matières organiques et en matières sèches, et ont ainsi été reconduits au printemps 2000. Seules les stations C4 et C9 ont été abandonnées en raison de leur trop grande proximité de la zone de concentration des essais. La station C5 a, quant à elle, été déplacée d'environ deux kilomètres au sud-est par rapport à sa position initiale.

7.1.1.3 Inventaire géophysique

Les levés géophysiques (chapitre 6) ont permis l'identification des principaux sites d'impacts à l'intérieur de la zone de tir, que nous désignerons sous le terme «points chauds». Pour les besoins du plan d'échantillonnage, la zone à l'étude a par la suite été divisée en trois secteurs. Les deux premiers sont définis à l'intérieur de la zone de concentration des essais, soit la zone ayant fait l'objet de l'inventaire géophysique. Le secteur des points chauds est formé par un ensemble de sites disjoints, de superficie variable, pour lesquels les résultats des levés géophysiques révèlent une concentration élevée de projectiles et/ou de débris ferreux (> 6 anomalies par segment de 4 x 32 m). Un second secteur, dit intermédiaire, est caractérisé par des concentrations en projectiles et/ou débris ferreux beaucoup moins importantes que dans les points chauds. Le secteur de comparaison, en périphérie de la zone de tir, est considéré libre de projectile et/ou de débris. Il représente le milieu ambiant avec lequel les autres zones devraient être comparées.

7.1.2 Plan d'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage doit permettre de répondre à l'objectif poursuivi, à savoir si la qualité des sédiments du lac Saint-Pierre à l'intérieur de la zone de concentration des essais est affectée par la présence de projectiles et/ou de leurs débris. À cette fin, la qualité des sédiments des points chauds (au nombre de huit, identifiés par les lettres A à H) de la zone de tir est comparée à celle des sites de comparaison. Il est également possible de comparer les points chauds entre eux pour certains types de contaminants. La qualité des sédiments pourrait être

variable d'un point chaud à l'autre étant donné les différences au niveau du nombre ainsi que des types de projectiles en présence. Pour planifier l'échantillonnage, nous avons supposé que le nombre de telles comparaisons se réduirait à une, c'est-à-dire qu'il s'agirait de vérifier la présence d'un groupe de points chauds plus contaminés que les autres. La comparaison de la contamination observée dans les points chauds à celle observée aux stations «intermédiaires» permet de valider le choix des points chauds et de supporter l'interprétation des résultats en termes du pire scénario.

Étant donné l'hétérogénéité présumée de la qualité des sédiments aux points chauds ainsi que leurs différences de superficie, un plan d'échantillonnage stratifié a été adopté (Cochran, 1977). L'allocation (la répartition) des stations dans les strates (les points chauds) qui semble la plus avantageuse en absence d'information au sujet de la variabilité des contaminants est l'allocation proportionnelle au «poids» des strates avec un minimum de deux stations par point chaud. Le poids des points chauds a été défini proportionnellement à leur surface ainsi qu'au nombre d'anomalies magnétiques qui y ont été détectées par les levés géophysiques. Dans les deux autres secteurs, i.e. de comparaison et intermédiaire, que nous supposons homogènes, les stations ont été réparties par groupes de deux ou trois stations de façon uniforme. Les stations d'une même paire (ou du même triplé) ont été séparées d'environ une centaine de mètres afin de tenir également compte des variations à petite échelle.

Une matrice de calcul d'analyse de puissance (annexe 10) a permis d'évaluer sommairement les relations entre l'ampleur et la répartition de l'effort d'échantillonnage, le niveau de signification des tests, la puissance statistique désirée ainsi que les différences détectables permettant de résoudre la question de départ. L'allocation des stations dans les trois secteurs fut également déterminée à partir de cette matrice. Dans ces calculs, il était supposé que la contamination des secteurs était distribuée normalement, que l'écart-type était connu et proportionnel à la moyenne (i.e. le coefficient de variation (C.V.) était constant, ce qui est souvent le cas pour des données de contamination). Sur la base des résultats de mercure observés en 1986, l'effort d'échantillonnage planifié devait permettre de détecter des différences de 49 % entre la zone contaminée (points chauds) et les autres zones. Sur la base des données de chrome du nord du lac, qui étaient beaucoup moins variables (C.V. = 30 %), les différences détectables seraient de 22 %.

7.1.2.1 Assurance et contrôle de la qualité

On peut constater, dans la procédure d'échantillonnage des sédiments (annexe 8), que de nombreuses précautions ont été mises en place afin d'assurer la qualité et la représentativité des prélèvements. Toutefois, afin d'établir la variabilité locale des prélèvements, trois échantillons (1 m de distance entre chacun) ont été récoltés à une même station dans chacun des secteurs (tableau 8).

Tableau 8

Échantillons de contrôle de la variabilité des prélèvements

Secteur	Station
Points chauds	A4/A5/A6
Comparaison	Z3/Z4/Z5
Intermédiaire	Y5/Y6/Y7

7.1.2.2 Variables mesurées

À chaque station, la température (°C), la conductivité (µS/cm) et le pH ont été mésurés à 0,5 m du fond à l'aide d'une multisonde Hydrolab (modèle H_2O). Les valeurs de conductivité ont été corrigées pour une température de 25 °C, selon la méthode 2510-B décrite par l'APHA (1995). La profondeur (m) de la station a été déterminée avec le profondimètre des plongeurs. Ces derniers notaient également la présence ou l'absence de végétation.

7.2 PROGRAMME DE SANTÉ ET DE SÉCURITÉ

La présence de projectiles non détonés imposaient des conditions particulières pour la caractérisation sécuritaire de la zone de tir. Les instructions permanentes d'opération (annexe 11), préparées par le MDN, présentent le programme de santé et sécurité, les mesures prévues en cas d'urgence, les procédures à respecter pour les communications et les différentes étapes à suivre par les plongeurs artificiers pour sécuriser le site.

7.3 ANALYSES

7.3.1 Conservation et préparation des échantillons

Les échantillons ont été placés au réfrigérateur (4 °C) à la fin de chaque journée d'échantillonnage. Le 15 juin 2000, tous les échantillons récoltés ont été transportés et entreposés au laboratoire Labexcel inc. situé au Cap-de-la-Madeleine. Le personnel de ce laboratoire a procédé à l'homogénéisation (brassage manuel) des 80 échantillons selon le protocole présenté à l'annexe 12. Par la suite, les sédiments de chaque échantillon ont été divisés en plusieurs sous-échantillons et répartis entre les différents contenants nécessaires aux analyses. Un schéma de la répartition des échantillons est également présenté à l'annexe 12. Tous les sous-échantillons préparés ont été conservés à 4 °C jusqu'au moment de leur transfert vers les laboratoires d'analyse. Des sous-échantillons de réserve ont été préparés pour chaque échantillon livré et ont été conservés au laboratoire pendant un an au congélateur.

7.3.2 Paramètres analysés

Les paramètres retenus pour analyses ont été déterminés à partir d'une revue de littérature portant sur la composition des projectiles (chapitre 4) et d'une liste des paramètres usuels pour le suivi de l'état du Saint-Laurent. Les paramètres inorganiques, dont plusieurs métaux, sont présentés au tableau 9. Les substances chimiques organiques retenues (tableau 10) sont les composés énergétiques, les HAP (résultats individuels et sommation) et les BPC congénères (résultats par groupes homologues et sommation).

7.3.3 Méthodes analytiques

Le laboratoire Envirolab et ses sous-traitants ont fourni les services d'analyses de la granulométrie, des métaux, du carbone organique total (COT), des BPC et des HAP. L'analyse des composés énergétiques a été effectué par Philip Services Analytiques et par le centre de Recherche et développement pour la défense Canada - Valcartier (RDDC-Val).

Pour l'analyse des métaux et du COT, les échantillons ont été séchés à 60 °C, passés au tamis de 2 mm afin d'éliminer les débris grossiers et, finalement, broyés manuellement puis passés au tamis de 180 µm. Pour les analyses organiques, les échantillons ont été homogénéisés

manuellement et les débris grossiers ont été rejetés; l'analyse a été effectuée sur une portion humide de l'échantillon.

Tableau 9

Paramètres inorganiques analysés

Paramètre	Paramètre
Aluminium extractible total	Manganèse extractible total
Arsenic extractible total	Mercure total
Béryllium extractible total	Nickel extractible total
Cadmium extractible total	Plomb extractible total
Chrome extractible total	Sélénium extractible total
Cobalt extractible total	Tungstène extractible total
Cuivre extractible total	Zinc extractible total
Fer extractible total	Carbone organique total
Lithium extractible total	Humidité (%)
Magnésium extractible total	Granulométrie - sédimentologie

Tableau 10

Paramètres organiques analysés

Composés énergétiques	HAP	BPC congénères
HMX	Naphtalène	Trichlorobiphényles
RDX	2-Méthylnaphtalène	Tétrachlorobiphényles
1,3,5-Trinitrobenzène (TNB)	1-Méthylnaphtalène	Pentachlorobiphényles
1,3-Dinitrobenzène (DNB)	Acénaphtylène	Hexachlorobiphényles
Tétryle	Acénaphtène	Heptachlorobiphényles
Nitrobenzène (NB)	Fluorène	Octachlorobiphényles
2,4,6-Trinitrotoluène (TNT)	Phénanthrène	Nonachlorobiphényles
2-Amino-4,6+4-Amino-4,6-DNT	Anthracène	Décachlorobiphényle
2,4+2,6-Dinitrotoluène	Fluoranthène	
2-Nitrotoluène (2-NT)	Pyrène	
3-Nitrotoluène (4-NT)	Benzo(*a*)anthracène	
4-Nitrotoluène (NT)	Chrysène	
	Benzo(*b*+*j*+*k*)fluoranthène	
	Benzo(*e*)pyrène	
	Benzo(*a*)pyrène	
	Indéno(1,2,3-*cd*)pyrène	
	Dibenzo(*a*,*h*)anthracène	
	Benzo(*ghi*)pérylène	

Les méthodes d'analyses utilisées pour les paramètres inorganiques, les BPC et les HAP sont présentées à l'annexe 13. Pour les composés énergétiques, Philip Services Analytiques ont eu recours à la méthode EPA 8330 (HPLC) alors que le RDDC-Val a utilisé cette méthode pour l'extraction des échantillons seulement (U.S. EPA, 1994). Leurs analyses ont été effectuées à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse (GC HP6890 équipé d'un détecteur ECD) afin d'obtenir des limites de détection supérieures à la méthode 8330 (Walsh et Ranney, 1998; 1999).

Un auto-injecteur HP7683 a été utilisé à une température d'injection de 250 °C pour un volume d'injection de 5 µL. Une colonne capillaire à base de phényle méthyle siloxane HP-5 (HP19095J-121) d'une dimension de 10,0 m x 0,53 mm a été utilisée avec l'hélium comme gaz porteur. Le programme de température était le suivant: 100 °C pour deux minutes, rampe de 10 °C par minute jusqu'à 200 °C, rampe de 15 °C par minute jusqu'à 280 °C, une pause de quatre minutes à 280 °C. Le détecteur ECD était à 280 °C sous azote à un débit de 40 mL par minute.

Les paramètres analysés grâce à cette méthode sont: Nitrobenzène, Tétryl, 2A-DNT, 4A-DNT, RDX, HMX, TNT, 1,3,5-TNB, 2,4-DNT, 2,6-DNT, 1,3-DNB, 2-NT, 3-NT et 4-NT. Les limites de détection obtenues à l'aide de cette méthode sont respectivement: 10, 1,3, 0,8, 5, 12,5, 5, 10, 2, 0,5, 0,5, 5,5 et 5 ppb. Cependant, la limite de quantification pour les échantillons de sédiments du lac Saint-Pierre a été fixée à 20 ppb pour tous les analytes puisque la présence de matière organique dans les sédiments générait des interférences dans les chromatogrammes.

7.3.4 Assurance et contrôle de la qualité

Un programme d'assurance et de contrôle de qualité a été établi selon les critères du Centre Saint-Laurent d'Environnement Canada et du Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec (blanc, duplicata, échantillon fortifié, etc.), puis mis en œuvre par les laboratoires. Le détail de ce programme est présenté à l'annexe 14.

De plus, des triplicatas fantômes ont été préparés à partir des sédiments récoltés à chacune des deux stations choisies dans le secteur des points chauds (tableau 11). Ainsi, les sédiments échantillonnés aux stations A7 et H6 ont été divisés en trois échantillons distincts dont les laboratoires ignoraient la provenance.

Tableau 11

Stations du secteur des points chauds pour lesquelles des triplicatas fantômes ont été préparés

Station	Échantillons analysés
A7 H6	A7 - A10 - A11 H6 - H8 - H9

7.3.5 Analyses statistiques

Toutes les données recueillies ont été saisies sur fichier informatique (Excel, version 7). Le traitement statistique a été réalisé à l'aide du pro-logiciel SAS (version 8) et tous les tests ont été appliqués au seuil de probabilité de 0,05.

Le béryllium et le tungstène n'ont pas été détectés assez souvent pour être statistiquement analysables. Pour fins d'analyse, les teneurs non détectées des autres métaux mesurés ont été remplacées par la moitié de la limite de détection. L'examen des données n'a pas révélé de valeur aberrante. Cependant, les teneurs de certaines substances (Al, Cd, Cr, Hg, Mg, Mn, Pb, Zn) n'étaient pas distribuées normalement, ce qui a été amélioré par une transformation logarithmique (base 10) des concentrations pour toutes les substances.

La comparaison de la contamination entre les différents secteurs (points chauds, intermédiaire et comparaison) ainsi qu'entre les différents points chauds (A à H) a été faite par analyse de variance. La variance des contaminants (échelle $\log_{10}$) dans les trois secteurs étudiés ainsi qu'entre les points chauds a été estimée selon la méthode MINVQUE0 de SAS. La vérification du dépassement des critères de qualité a été faite à l'aide du test *t* de Student.

Une analyse en composantes principales des teneurs observées pour les métaux analysés en fonction de la composition granulométrique des sédiments récoltés aux stations des trois secteurs (points chauds, intermédiaire et de comparaison) a été réalisée.

7.4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

7.4.1 Variables physico-chimiques

Les données validées des variables physico-chimiques (profondeur, présence ou absence de végétation, température, conductivité et pH) mesurées au moment de l'échantillonnage sont présentées à l'annexe 15. La profondeur moyenne des stations échantillonnées dans le secteur des points chauds (A à H) est de 1,2 m (0,6 à 1,8 m). Elle est de 1,7 m (0,6 à 3,0 m) pour les stations du secteur intermédiaire (Y) et de 2,5 m (1,2 à 4,0 m) pour le secteur de comparaison (Z). La présence de végétation a été notée à 87 % des stations du secteur des points chauds, à 77 % dans le secteur intermédiaire et à 65 % dans le secteur de comparaison. Les températures mesurées aux différentes stations varient entre 12,7 °C et 19,4 °C sur une période de trois semaines (29 mai - 14 juin). La moyenne, toutes stations confondues, est de 16,1 °C. Les écarts de température peuvent être attribuables à la date de prise d'échantillon, aux conditions climatiques au moment de l'échantillonnage, de même qu'à la profondeur de la station. Le pH de l'eau varie entre 7,0 et 8,6. De façon générale, les stations localisées près de la rive sud présentent des valeurs de conductivité plus faibles que celles plus rapprochées de la voie navigable, où la physico-chimie de l'eau est caractéristique des eaux vertes fortement minéralisées (~ 300 µS/cm et plus) du fleuve Saint-Laurent. À l'exception de Z1 et Z2, les stations de comparaison sont les plus rapprochées de la voie navigable. Ainsi, la conductivité moyenne mesurée aux stations de comparaison s'élève à 288 µS/cm (171 à 324 µS/cm) et à 238 µS/cm (174 à 302 µS/cm) aux stations intermédiaires. L'eau aux stations davantage rapprochées de la rive sud, où sont entre autres situées la majorité des stations du secteur intermédiaire, est également fortement influencée par les eaux vertes en provenance des Grands Lacs, mais subit aussi l'influence locale des apports de tributaires (Désilets et Langlois, 1989). La conductivité moyenne aux stations des points chauds est 248 µS/cm. La valeur minimale mesurée est 165 µS/cm et la valeur maximale 498 µS/cm. En fait, seul un petit groupe de stations démontrent des valeurs de conductivité nettement supérieures aux autres. Les stations A2 à A11, situées à proximité de la batterie de tirs #1 du CEEM, ont des valeurs de conductivité se situant entre 344 et 498 µS/cm. Ces valeurs pourraient peut-être être influencées par la présence d'un grand nombre de pièces métalliques de projectiles à cet endroit. Depuis 1993, on y effectue des tirs sur une plaque d'arrêt, causant une

certaine accumulation de débris dans le lac. Ce site est également utilisé, à l'occasion, pour la destruction de munitions (Capt. Jean-Luc Rosso, CEEM, communication personnelle). Cependant, il faudrait que la contamination en métaux atteigne des niveaux très élevés pour supporter une telle hypothèse. Il est plus probable que les valeurs observées soient expliquées par l'influence locale des tributaires dans ce secteur (p. ex. rivière Yamaska). Si on enlève les stations A de l'ensemble des points chauds, la conductivité moyenne dans ce secteur (B à H) est alors 207 µS/cm.

7.4.2 Paramètres inorganiques

Les résultats des analyses granulométriques, du carbone organique total et de la teneur en eau indiquent que les sédiments récoltés ne sont pas homogènes sur l'ensemble du secteur à l'étude (tableau 12). Le point chaud A se distingue par des sédiments plus fins et plus organiques alors que les autres points chauds ainsi que les secteurs intermédiaire et de comparaison sont plus sablonneux et moins organiques. Les teneurs en eau sont également plus élevées au point A compte tenu de la proportion élevée en argile. Les certificats d'analyses sont présentés dans le rapport d'Envirolab (2000a).

Tableau 12

Caractéristiques physiques des sédiments dans les points chauds (A-H), le secteur intermédiaire et le secteur de comparaison

Secteur	Eau	Carbone organique total	Sable	Argile	Limon
	%	%	%	%	%
A	39	0,74	31	50	19
B	25	0,34	73	9	17
C	32	0,50	63	17	20
D	29	0,33	63	17	20
E	21	0,13	88	6	6
F	19	0,13	91	5	4
G	19	0,16	78	4	18
H	22	0,15	81	12	7
Intermédiaire	25	0,26	71	13	16
Comparaison	24	0,33	72	8	20

Le tableau 13 présente les teneurs moyennes en métaux pour chacun des points chauds (A à H) ainsi que pour le secteur intermédiaire (Y) et le secteur de comparaison (Z). Le détail du traitement statistique est présenté à l'annexe 16. Selon l'analyse statistique (ANOVA, $p<0,05$), seuls deux métaux sont présents de façon uniforme dans les points chauds, soit l'arsenic et le zinc. Il existe des différences significatives dans les teneurs mesurées pour les autres métaux entre chaque point chaud. De façon générale, on observe des teneurs plus élevées au point chaud A et plus faible aux points E, G et H. L'analyse statistique révèle également que le point A présente des teneurs significativement supérieures au secteur de comparaison pour les métaux suivants: Al, As, Co, Cr, Fe, Li, Mg, Mn et Ni. Quatre de ces métaux (Al, As, Li, Mn) permettent à la fois de distinguer d'une part les points chauds et le secteur intermédiaire et d'autre part le secteur intermédiaire et le secteur de comparaison. Plusieurs facteurs peuvent expliquer les différences observées: la variabilité dans les proportions de matériaux fins, l'influence localisée du panache des tributaires situés en amont de la zone d'étude ou encore la présence de projectiles et de débris dans les points chauds. L'influence localisée de certaines masses d'eau sera discutée dans le chapitre suivant (chapitre 8). La variabilité des matériaux fins est discutée ci-après.

Une analyse en composante principale (figure 8) illustre bien la relation entre les concentrations en métaux et le pourcentage de particules fines. L'analyse a porté sur 84 observations et 20 variables standardisées. Tous les métaux significativement différents entre le sous-secteur A et le secteur de comparaison, sauf l'arsenic, sont ainsi regroupés avec le pourcentage d'argile. L'argile marine renferme d'ailleurs des teneurs naturellement élevées pour plusieurs métaux (tableau 14). Les argiles marines sont des dépôts anciens présents dans tout le système Saint-Laurent. Puisqu'elles sont situées près de la surface à plusieurs endroits, leur exposition à l'érosion en fait une source de particules fines. Ainsi, il n'est pas surprenant que les échantillons renfermant un fort pourcentage d'argile se rapprochent de ces teneurs. Une augmentation en éléments abondants tels l'aluminium, le fer, le manganèse ou encore le magnésium, qui pourrait résulter de la présence de projectiles ou de débris ferreux, risque fort d'être masquée par l'augmentation de ces mêmes éléments attribuable à une proportion plus élevée d'argiles marines.

Tableau 13

Teneurs moyennes en métaux dans chacun des secteurs

	Secteur des points chauds								Secteur intermédiaire	Secteur de comparaison	SEM*	SEN*
Paramètres (mg/kg)	A (n = 11)	B (n = 2)	C (n = 5)	D (n = 4)	E (n = 7)	F (n = 4)	G (n = 8)	H (n = 9)	Y (n = 17)	Z (n = 17)		
Aluminium	**28909,09**	10150,00	11560,00	11000,00	8271,43	10075,00	6300,00	7466,67	10000,00	5876,47		
Arsenic	**3,22**	2,90	3,54	2,63	3,21	3,78	2,68	2,94	2,11	2,17	7	17
Béryllium	0,45	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,44	0,40		
Cadmium	0,10	0,24	0,21	0,11	0,15	0,15	0,16	0,07	0,12	0,23	0,9	3
Chrome	**109,73**[1,2]	48,50	52,20	42,75	34,00	38,75	21,75	31,67	42,76	49,65	55	100
Cobalt	**23,09**	12,00	13,20	11,00	8,57	9,50	6,50	7,89	9,94	11,65		
Cuivre	42,00[1]	21,50	22,60	17,00	11,57	14,00	10,38	12,63	17,29	29,24	28	86
Fer	**40727,27**	21500,00	23400,00	17350,00	19371,43	20950,00	14500,00	13933,33	19235,29	19629,41		
Lithium	**21,73**	9,50	11,00	9,75	6,86	7,75	5,88	6,63	7,12	1,97		
Magnésium	**16363,64**	6250,00	7100,00	6374,75	5185,71	6275,00	4312,50	4955,56	6935,29	5251,18		
Manganèse	**564,55**	265,00	334,00	287,50	325,71	312,50	235,00	231,00	310,00	217,59		
Mercure	0,06	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,07	0,2	1
Nickel	**61,45**[1,2]	33,50	38,00	32,50	29,29	32,50	24,00	26,33	29,65	29,47	35	61
Plomb	8,55	9,50	11,20	3,25	3,29	3,00	1,25	2,22	5,59	8,24	42	170
Sélénium	0,14	0,05	0,08	0,13	0,17	0,18	0,12	0,08	0,12	0,11		
Tungstène	0,55	0,50	0,60	0,50	0,50	0,75	0,50	0,61	0,56	0,62		
Zinc	90,18	82,00	79,40	62,00	71,57	77,25	59,25	49,00	68,76	74,18	150	540

(En **gras**: teneurs en métaux significativement différentes entre le point chaud A et le secteur de comparaison)

* Seuils d'effets mineurs (SEM) et seuils d'effets néfastes (SEN) des critères intérimaires pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent (Environnement Canada et Ministère de l'Environnement du Québec, 1992)

[1] > SEM, significatif à $p<0,05$ (test de t)

[2] > SEN, mais non significatif à 0,05 (test de t)

Tableau 14

Teneurs moyennes en métaux (total extractible) dans les argiles marines du fleuve Saint-Laurent

Métaux (mg/kg)	Lac Saint-François	Lac Saint-Louis	Lac Saint-Pierre
Aluminium	41 144,44	38 769,23	32 176,92
Arsenic	1,94	5,58	3,69
Cadmium	0,11	0,13	0,19
Chrome	135,39	85,42	69,69
Cobalt	23,40	22,22	17,59
Cuivre	48,17	39,31	28,54
Fer	48 444,44	51 680,77	43 007,69
Lithium	47,87	49,11	29,94
Magnésium	23 255,56	18 576,92	15 569,23
Manganèse	847,78	1 036,65	711,31
Mercure	0,01	0,02	0,03
Nickel	66,26	49,08	43,24
Plomb	14,04	12,52	8,86
Zinc	130,26	135,31	100,46

Référence: Saulnier et Gagnon (en préparation)

Les teneurs mesurées ont aussi été comparées avec les critères intérimaires pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent (Environnement Canada et Ministère de l'Environnement du Québec, 1992). Les seuils d'effets néfastes (SEN) ne sont significativement dépassés dans aucun cas alors que les seuils d'effets mineurs (SEM) ne sont dépassés qu'au point chaud A pour le chrome, le cuivre et le nickel (test *t* de Student, $p<0,05$) (tableau 13). Aucune différence significative n'a toutefois été observée entre les teneurs de cuivre mesurées au point chaud A et celles des stations du secteur de comparaison (Z). Des effets toxiques sur les organismes benthiques peuvent être appréhendés lorsque la concentration d'un contaminant excède le SEM dans les sédiments. Compte tenu de ces résultats, des bioessais standardisés ont été réalisés pour évaluer la toxicité des sédiments (chapitre 8).

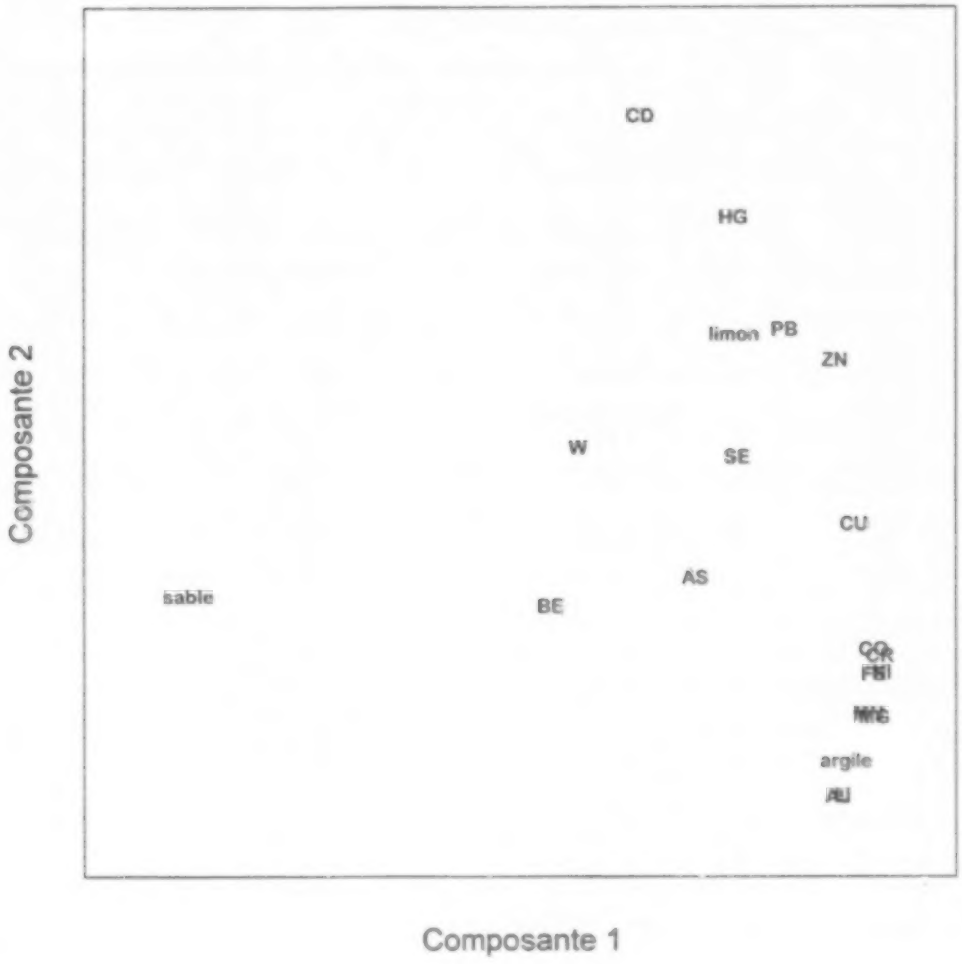


Figure 8 **Analyse en composantes principales de la contamination métallique et de la composition granulométrique des sédiments récoltés dans les trois secteurs (points chauds, intermédiaire et de comparaison) au printemps 2000.**

Le tableau 15 présente les résultats d'une campagne d'échantillonnage réalisée en 1986 dans la portion nord du lac Saint-Pierre (Hardy *et al.*, 1991). Cependant, tel que mentionné au chapitre 2 (description du milieu), la comparaison entre les portions nord et sud du lac Saint-Pierre n'est pas très valable, ces secteurs étant influencés par deux masses d'eau très différentes. Ces différences ont des répercussions importantes sur la composition chimique des sédiments. Il faut également ajouter que la méthode de digestion utilisée pour l'analyse des métaux était différente. Les analyses de la portion nord ont été réalisées après une digestion complète des échantillons alors que celles de la portion sud ont été faites d'une façon plus courante, dite digestion « partielle ». Selon les métaux, la fraction extraite par digestion « partielle », fraction aussi appelée « total extractible », représente généralement 60 à 90 % de la fraction extraite par digestion complète (fraction aussi appelée simplement « totale »). Néanmoins, on constate que les teneurs mesurées dans tous les sous-secteurs de la zone de tir, incluant le point chaud A, se situent généralement dans la fourchette des teneurs mesurées dans la portion nord du lac Saint-Pierre.

Tableau 15

Teneurs (mg/kg) en métaux dans les sédiments de la portion nord du lac Saint-Pierre

Métaux	Moyenne (mg/kg)	Minimum (mg/kg)	Maximum (mg/kg)
Aluminium	72 400,00	59 100,00	84 900,00
Arsenic	2,64	0,29	5,70
Cadmium	< 1,00	< 1,00	1,87
Chrome	119,70	33,30	314,00
Cobalt	17,70	10,60	45,10
Cuivre	47,50	3,00	123,00
Fer	35 900,00	16 000,00	75 700,00
Manganèse	570,00	310,00	1 150,00
Mercure	0,14	< 0,01	0,50
Nickel	38,00	10,40	103,00
Plomb	33,50	7,60	109,00
Sélénium	0,54	< 0,1	2,18
Zinc	148,00	44,30	329,00

Référence: Hardy *et al.* (1991)

7.4.3 Paramètres organiques

Le dosage des contaminants organiques dans les sédiments du champ de tir a porté sur les BPC, les HAP et les composés énergétiques. Les taux de détection pour les BPC et les HAP sont très bas (tableau 16). De plus, la répartition des valeurs détectées ne montre pas de relation entre l'exposition aux tirs et la contamination organique (tableau 17). Les teneurs détectées sont d'ailleurs très faibles, souvent inférieures au seuil sans effet (SSE) des critères intérimaires pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent (Environnement Canada et Ministère de l'environnement du Québec, 1992). Elles n'excèdent en aucun cas le seuil d'effets mineurs (SEM). Quant aux composés énergétiques, ces derniers n'ont été détectés dans aucun échantillon à l'un ou l'autre des laboratoires (Philip Services Analytiques et RDDC-Val). Les certificats d'analyse des paramètres organiques sont présentés dans les rapports d'Envirolab (2001a) et de Philip Services Analytiques (2000).

7.4.4 Assurance et contrôle de la qualité

7.4.4.1 Campagne d'échantillonnage

Plusieurs précautions ont été prises lors du prélèvement des échantillons de sédiments afin d'assurer la représentativité de leur site de collecte respectif. Tous les appareils et instruments de collecte et de manipulation des échantillons étaient notamment lavés au savon biodégradable entre chacune des stations pour éviter une contamination croisée. Cependant, il existe une variabilité intrinsèque au site même dont on doit tenir compte lors de l'interprétation des résultats en sus des variations attribuables à l'homogénéisation des échantillons et aux analyses en laboratoire (discutées ci-après à la section 7.4.4.2). Trois échantillons ont ainsi été récoltés à une même station dans chacun des secteurs. Les coefficients de variation (C.V.) de leurs teneurs en métaux sont présentés au tableau 18. Les plus fortes variations sont observées à la station du secteur des points chauds (aluminium: 54 %; cadmium: 44 %; sélénium: 35 %) mais elles sont plus fréquentes à la station du secteur de comparaison (cadmium, chrome, cobalt, fer, nickel, sélénium > 25 %). Certaines variations deviennent toutefois moins significatives lorsque les teneurs se rapprochent des limites de détection. Un C.V. de 40 à 100 % peut alors s'avérer acceptable et être attribué à la variabilité «normale» associée aux analyses: c'est notamment le cas

du cadmium, du cobalt et du sélénium. Ce n'est évidemment pas le cas de l'aluminium à la station du secteur des points chauds où on observe les teneurs les plus élevées ainsi que le C.V. le plus élevé. À la station du secteur de comparaison, c'est au fer qu'est associé le C.V. le plus élevé. La station du secteur intermédiaire présente quant à elle la plus faible variabilité.

Tableau 16

Taux de détection des BPC et des HAP dans les sédiments pour l'ensemble des échantillons analysés

Contaminant		Détection[a] (%)	Limites de détection mg/kg	SEM[d] mg/kg
BPC	Trichlorobyphényles	1,2	0,01 - 0,02[b]	
	Tétrachlorobiphényles	4.8	0.01 - 0.02[b]	
	Pentachlorobiphényles	4.8	0.01 - 0.02[b]	
	Hexachlorobiphényles	4.8	0.01 - 0.02[b]	
	Heptachlorobiphényles	0.0	0.01 - 0.02[b]	
	Octachlorobiphényles	0.0	0.01 - 0.02[b]	
	Nonachlorobiphényles	0.0	0.01 - 0.02[b]	
	Décachlorobiphényle	0.0	0.01 - 0.02[b]	
	BPC (totaux)	4.8	0.01 - 0.02[b]	0.2
HAP	Naphtalène	2.4	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	0.4
	2-méthylnaphtalène	1.2	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	
	1-méthylnaphtalène	0.0	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	
	Acénaphtylène	0.0	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	
	Acénaphtène	0.0	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	
	Fluorène	3.6	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	
	Phénanthrène	23.8	0.01 - 0. 1[c]	0.4
	Anthracène	6.0	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	
	Fluoranthène	34.5	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	0.6
	Pyrène	34.5	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	0.7
	Benzo(a)anthracène	17.9	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	0.4
	Chrysène	22.6	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	0.6
	Benzo(b,j,k)fluoranthène	27.4	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	
	Benzo(e)pyrène	14.3	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	
	Benzo(a)pyrène	16.7	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	0.5
	Indéno(1.2.3-cd)pyrène	9.5	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	
	Dibenzo(a.h)anthracène	0.0	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	
	Benzo(g.h.i)pérylène	8.3	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	
	HAP (totaux)	38.1	0.01 - 0.02 - 0.1[c]	

[a] Taux de détection sur 84 échantillons analysés

[b] Un seul échantillon a démontré une limite de détection égale à 0,02 mg/kg

[c] Un seul échantillon a démontré une limite de détection égale à 0,1 mg/kg. Cet échantillon a dû être dilué par un facteur de 10 car il y avait présence de graisse dans l'extrait pour l'analyse des HAP

[d] Seuils d'effets mineurs (SEM) des critères intérimaires pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent (Environnement Canada et Ministère de l'Environnement du Québec, 1992)

Tableau 17

Nombre d'échantillons (sédiments) par secteur avec détection des contaminants organiques

Secteur	Détection des BPC	Détection des HAP
A	0/11	6/11
B	0/2	2/2
C	0/5	3/5
D	0/4	2/4
E	0/7	1/7
F	0/4	0/4
G	0/8	1/8
H	0/9	0/9
Intermédiaire (Y)	0/17	8/17
Comparaison (Z)	4/17	9/17

7.4.4.2 Analyses physico-chimiques

Un total de 84 échantillons (en incluant les triplicatas fantômes) ont été analysés par les laboratoires pour la caractérisation physico-chimique des sédiments de la portion sud du lac Saint-Pierre. Les résultats obtenus par le contrôle de qualité rencontrent tous les objectifs fixés au début du projet tant pour les paramètres inorganiques que pour les substances chimiques organiques.

Les critères non rencontrés sont les limites de détection rapportées pour quelques échantillons analysés pour les BPC congénères et les HAP. Ces dernières s'écartent peu de celles exigées (0,02 mg/kg versus 0,01 mg/kg) et n'entraînent pas de conséquences dans l'interprétation des résultats.

La précision évaluée à partir des échantillons fantômes est excellente pour toutes les analyses demandées. Seule la précision calculée pour la fraction du gravier du triplicatas A7, A10 et A11 ne rencontre pas le critère moyen établi. Cette fraction représente toutefois moins de 1 % de l'échantillon. On peut affirmer que les travaux d'homogénéisation ont été effectué d'une façon adéquate pour l'ensemble des paramètres. Le rapport d'évaluation de la qualité des résultats est présenté à l'annexe 17.

Tableau 18

Moyenne, écart-type et coefficient de variation (C.V.) des analyses effectuées sur les échantillons de sédiments prélevés dans le cadre du programme d'assurance et de contrôle de la qualité

		Secteur des points chauds A4/A5/A6			Secteur intermédiaire Y5/Y6/Y7			Secteur de comparaison Z3/Z4/Z5		
Paramètres	Unités	Moyenne	Écart-type	**C.V. (%)**	Moyenne	Écart-type	**C.V. (%)**	Moyenne	Écart-type	**C.V. (%)**
Aluminium extractible	*mg/kg Al*	36333	19732	**54**	5567	252	5	9000	866	10
Arsenic extractible	*mg/kg As*	3	0,3	9	1,9	0,2	8	2,9	0,4	14
Cadmium extractible	*mg/kg Cd*	0,09	0,04	**44**	0,14	0,01	4	0,44	0,13	**30**
Carbone organique total	*% C*	0,57	0,11	20	0,16	0,03	15	0,63	0,10	16
Chrome extractible	*mg/kg Cr*	109	12	11	26	0	0	68	21	**31**
Cobalt extractible	*mg/kg Co*	23	2	9	6	1	9	14	4	**29**
Cuivre extractible	*mg/kg Cu*	41	4	9	8	1	13	40	7	16
Teneur en eau	*%*	38	2	4	19	2	8	31	3	10
Fer extractible	*mg/kg Fe*	40333	5508	14	14667	1155	8	27333	9292	**34**
Lithium extractible	*mg/kg Li*	21	2	8	3	1	17	4	0,6	16
Magnésium extractible	*mg/kg Mg*	16000	2646	17	2867	208	7	9933	924	9
Manganèse extractible	*mg/kg Mn*	600	66	11	203	6	3	340	46	13
Mercure total	*mg/kg Hg*	0,06	0,01	9	0,06	0	0	0,16	0,02	11
Nickel extractible	*mg/kg Ni*	60	6	9	20	1	5	36	10	**27**
Plomb extractible	*mg/kg Pb*	8	1	15	5	1	22	16	2	13
Sélénium extractible	*mg/kg Se*	0,2	0,06	**35**	0,2	0	0	0,2	0,06	**25**
Zinc extractible	*mg/kg Zn*	87	8	9	65	2	3	127	25	20

(En **gras**: coefficients de variation > 25 %)

7.5 BILAN

Les résultats d'analyses ont révélé des différences statistiquement significatives pour les teneurs de plusieurs métaux entre le point chaud situé à l'extrémité est de la zone de tir (point chaud «A») et le secteur de comparaison. Les concentrations mesurées n'ont toutefois rien d'exceptionnelles lorsque comparées aux critères intérimaires de qualité des sédiments du Saint-Laurent et aux teneurs dans la portion nord du lac Saint-Pierre. D'autre part, on ne peut attribuer ces différences à la seule présence de projectiles et de débris. Ces différences observées relèvent probablement davantage de la prédominance d'argiles marines dans le secteur A. Suite aux recommandations du comité technique du suivi de l'étude, l'impact potentiel du point chaud A a néanmoins été évalué de façon spécifique sur les bases des principes de précaution et d'évaluation du pire scénario. Cette évaluation fait l'objet du chapitre suivant.

8 Échantillonnage complémentaire

L'approche en triade (Chapman, 1992) a été utilisée pour évaluer une contamination potentielle au point chaud A. Cette approche est basée sur l'utilisation concurrentielle des données de chimie, de toxicité et d'inventaire des communautés benthiques. La toxicité des sédiments est évaluée à partir de bioessais réalisés en laboratoire. L'inventaire des organismes benthiques *in situ* permet de vérifier, s'il y a lieu, si cette toxicité se répercute dans le milieu. Dans le contexte présent, l'approche retenue permet non seulement de vérifier l'impact de la présence des projectiles et de débris, mais aussi l'impact physique des activités de tir sur la biodiversité du benthos étudié. En plus des échantillons de sédiments, des échantillons d'eau de surface et d'eau interstitielle ont également été récoltés et analysés au cours de cette campagne.

8.1 ÉCHANTILLONNAGE

Les travaux réalisés aux deux zones visées par la campagne d'échantillonnage complémentaire, soient la zone exposée (AA) et la zone de comparaison (ZZ), ont été effectués entre le 16 et le 19 octobre 2000.

L'emplacement des cinq stations de la zone exposée, dont la localisation est présentée à la figure 9 ainsi qu'à l'annexe 18, a été déterminé en fonction des résultats observés aux stations A2 à A11, échantillonnées lors de la campagne principale du printemps 2000 (chapitre 7). L'annexe 18 présente également les coordonnées des cinq stations de la zone de comparaison, qui ont également été choisies en tenant compte des stations échantillonnées au printemps 2000. Ainsi, les stations ZZ3 et ZZ4 sont situées à proximité des stations Z1 et Z2 de la campagne principale (chapitre 7).

Le choix d'emplacement pour les stations de la zone de comparaison fut ardu puisque aucun des sites de comparaison de la zone d'étude ne présentait des concentrations d'argile comparables à celles du point chaud A, renommé sous-secteur AA de la zone exposée pour l'échantillonnage complémentaire. En fait, aucun des secteurs échantillonnés au printemps ne présentait un pourcentage d'argile aussi élevé que celui observé dans le sous-secteur AA. Un effort particulier a été fait au niveau de la recherche de stations de comparaison où le type de

sédiments en présence aurait pu être comparable à celui observé dans le sous-secteur AA. Outre la différence au niveau de la texture des sédiments, les autres caractéristiques d'importance pour les communautés benthiques ont été respectées dans le choix de la localisation des stations: le sous-secteur de comparaison choisi (ZZ), tout comme le sous-secteur AA de la zone exposée, représente un milieu relativement abrité (baies), peu profond et d'une couverture végétale comparable (annexe 18).

Les plongeurs artificiers ont suivi le même protocole d'échantillonnage (annexe 8) que celui utilisé lors de la campagne principale du printemps 2000 (section 7.1). La description des échantillons de sédiments, la prise des échantillons d'eau de surface ainsi que la mesure des variables physico-chimiques de l'eau ont été effectuées par l'équipe d'Environnement Canada. Pour les sédiments, trois réplicats, composés de deux coups de benne chacun, ont été récoltés à toutes les stations de la zone exposée et de la zone de comparaison pour le dénombrement et l'identification des organismes benthiques. On compte donc 30 échantillons pour ce volet. Aussi, un échantillon composé de quatre coups de benne a été récolté à chacune des dix stations, permettant ainsi l'obtention d'un volume suffisant (10 L) de sédiments pour la réalisation des analyses physico-chimiques (incluant la granulométrie) et toxicologiques (bioessais).

8.2 PROGRAMME DE SANTÉ ET DE SÉCURITÉ

Tout comme lors des campagnes d'échantillonnage précédentes, la présence de projectiles non détonés nécessitait des conditions particulières pour assurer la sécurité de l'équipe lors de la prise d'échantillons dans la zone de tir. Les instructions permanentes d'opération (annexe 19), préparées par le MDN, présentent le programme de santé et sécurité, les mesures prévues en cas d'urgence, les procédures à respecter pour les communications et les différentes étapes à suivre par les plongeurs pour sécuriser le site.

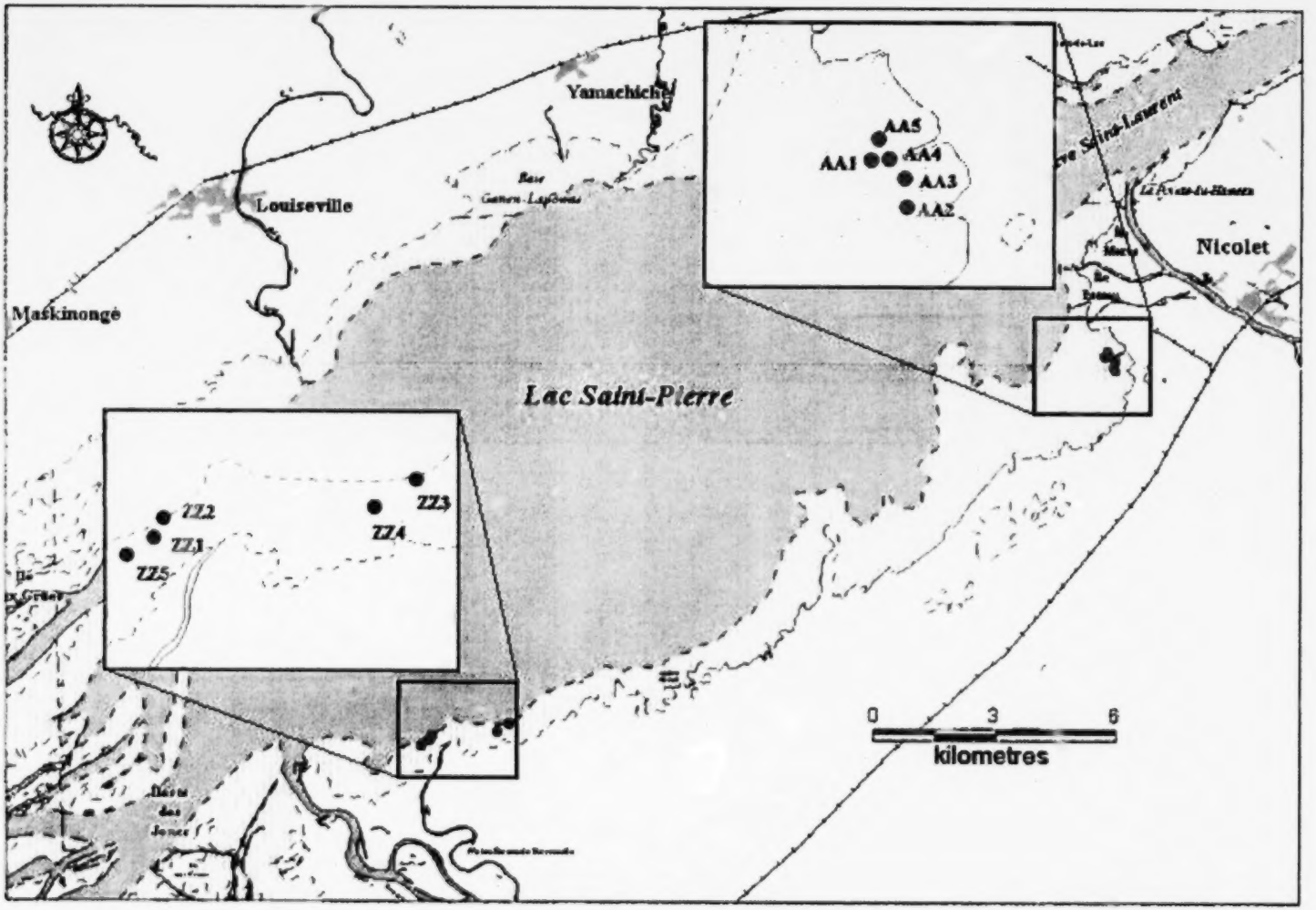


Figure 9 **Localisation des stations échantillonnées lors de la campagne d'échantillonnage complémentaire en octobre 2000.**

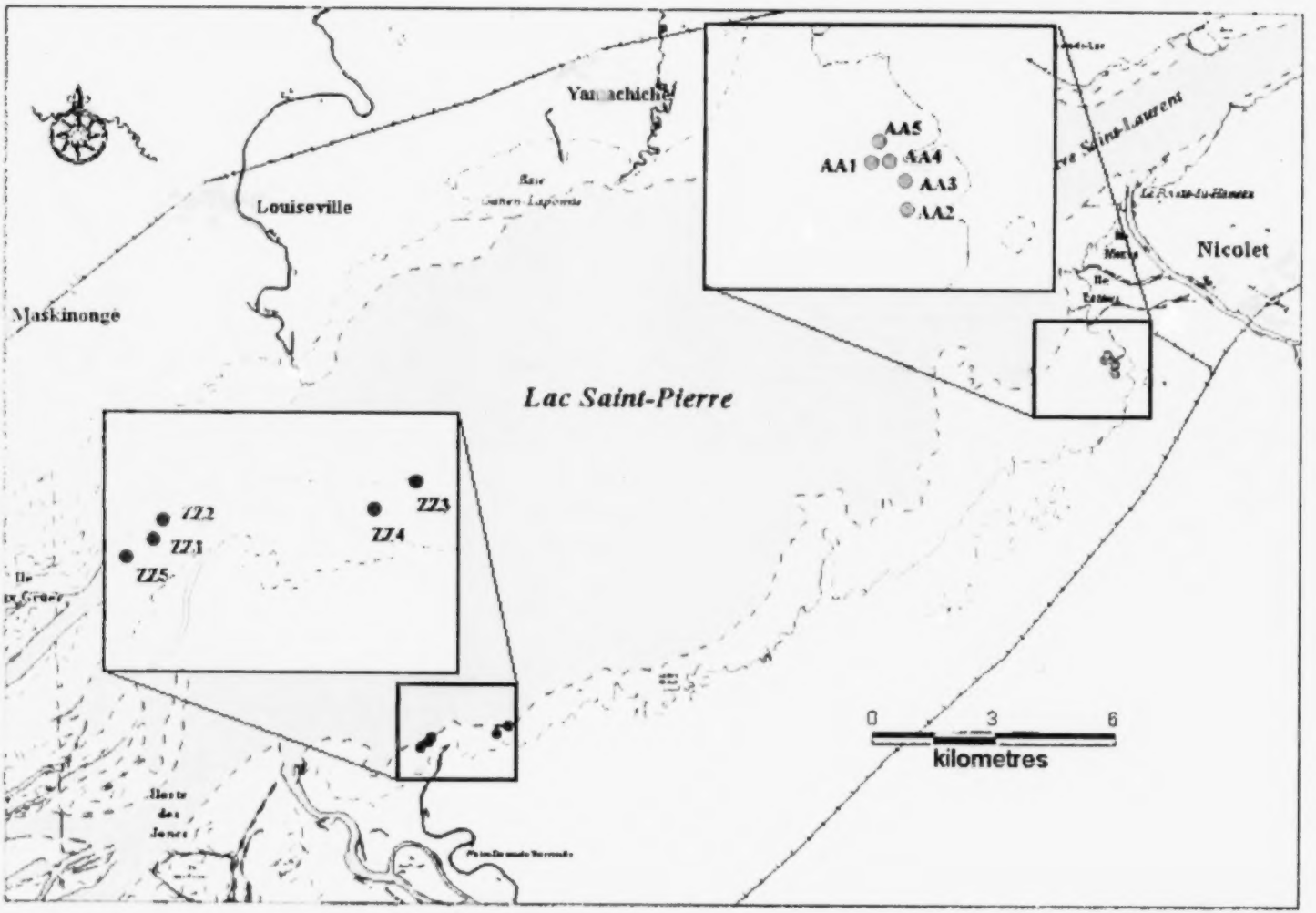


Figure 9 **Localisation des stations échantillonnées lors de la campagne d'échantillonnage complémentaire en octobre 2000.**

8.3 ANALYSES

Les méthodes suivies pour les analyses chimiques, l'inventaire des organismes benthiques et les bioessais sont présentées en détails dans les rapports d'Envirolab (2000b), des Laboratoires SAB inc. (2001) et de Trottier (2001) ainsi qu'à l'annexe 20. Un résumé des méthodes est exposé ci-après.

8.3.1 Conservation et préparation des échantillons

Les échantillons de sédiments et d'eau de surface destinés aux analyses physico-chimiques et aux bioessais ont été placés au réfrigérateur (4° C) à la fin de chaque journée d'échantillonnage. Les échantillons de sédiments pour l'identification et le dénombrement des organismes benthiques ont été tamisés au moment de la récolte, sur un tamis de 500 µm. Ces échantillons ont été conservés avec de la formaline 10 % pendant une période de 24 heures. Ils ont ensuite été transférés dans l'alcool éthylique à 70 % et envoyés au laboratoire pour analyse. Le 20 octobre 2000, tous les autres échantillons ont été transportés au laboratoire du Centre Saint-Laurent d'Environnement Canada à Montréal. Les échantillons de sédiments pour les analyses physico-chimiques et les bioessais y ont été homogénéisés (Trottier, 2001). Les sédiments ont par la suite été répartis dans les récipients appropriés pour les différentes analyses et envoyés aux laboratoires désignés.

L'eau interstitielle nécessaire pour les analyses de métaux, d'azote ammoniacal et la réalisation de certains bioessais a été extraite au laboratoire du Centre Saint-Laurent (Trottier, 2001).

8.3.2 Paramètres analysés

Les paramètres retenus pour les analyses effectuées sur les sédiments, l'eau interstitielle extraite des échantillons de sédiments ainsi que sur l'eau de surface sont présentés au tableau 19. Seuls les métaux dont les teneurs mesurées au point chaud A au printemps 2000 étaient significativement supérieures à celles observées dans le secteur de comparaison ont été analysés.

Tableau 19

Paramètres analysés dans les échantillons de sédiments, d'eau interstitielle extraite des échantillons de sédiments ainsi que d'eau de surface

Paramètre	Sédiments	Eau interstitielle	Eau de surface
Aluminium extractible	•	•	•
Arsenic extractible	•	•	•
Chrome extractible	•	•	•
Cobalt extractible	•	•	•
Fer extractible	•	•	•
Lithium extractible	•	•	•
Magnésium extractible	•	•	•
Manganèse extractible	•	•	•
Nickel extractible	•	•	•
Carbone organique total	•		
Humidité (% eau)	•		
Granulométrie	•		
pH		•	
Azote ammoniacal		•	
Alcalinité			•
Conductivité			•
Solides en suspension			•

8.3.3 Méthodes analytiques

8.3.3.1 Analyses chimiques

Tous les échantillons ont été conservés à 4 °C (eau) ou à -20 °C (sédiments) avant leur analyse. Les échantillons de sédiments ont été séchés à 60 °C, passés au tamis de 2 mm, broyés manuellement et, finalement, passés au tamis de 180 µm. Les échantillons de la colonne d'eau ont été laissés au repos 24 heures (à partir du prélèvement) à 4 °C puis décantés avant l'ajout de l'agent de conservation (HNO_3). L'eau interstitielle a été extraite des échantillons de sédiments par centrifugation (3000 tr/min pendant 15 min) au laboratoire du Centre Saint-Laurent. Par la suite, l'agent de conservation (HNO_3) a été ajouté. À la réception au laboratoire, les échantillons acidifiés (colonne d'eau et eau interstitielle) ont été filtrés sur une membrane (porosité de 0,45 µm). L'analyse a été effectuée sur la portion filtrée. Cette filtration avait pour but de minimiser la dissolution et/ou la désorption des métaux présents dans la phase solide. Comme les échantillons

avaient été acidifiés quelques jours auparavant, une partie importante des métaux faiblement liés à la phase solide avait déjà pu se retrouver dans la phase dissoute. Les analyses chimiques des échantillons d'eau (colonne et interstitielle) et de sédiments ont été effectuées chez Envirolab (Envirolab, 2000b).

8.3.3.2 Bioessais

Les échantillons ont été soumis à une batterie bioanalytique composée de cinq bioessais. Les tests incluent le Microtox™ (bactérie *Vibrio fischeri*) réalisé sur les phases 1) solide et 2) liquide, les essais 3) de croissance et 4) de survie de l'amphipode *Hyalella azteca* sur la phase solide ainsi que l'essai 5) d'inhibition de la croissance avec l'algue verte *Selenastrum capricornutum* lorsque mis en contact avec la phase liquide. En plus de considérer trois espèces et autant de niveaux trophiques, la présente batterie évalue plusieurs types d'effets sur trois matrices distinctes (eau interstitielle, sédiments en suspension et sédiments entiers). Trois niveaux de toxicité sont par ailleurs examinés (mortalité, sublétalité aiguë et sublétalité chronique). Bien que les protocoles expérimentaux de chaque bioessai diffèrent, une démarche commune s'applique à tous. Il s'agit d'exposer, en conditions contrôlées, des organismes vivants à une série de dilutions de l'échantillon, puis à observer et à quantifier les effets toxiques. Les tests ont été effectués dans deux laboratoires régionaux d'Environnement Canada. Le Microtox et le test d'inhibition de croissance d'algue ont été effectués au Centre Saint-Laurent (Montréal) (Trottier, 2001) alors que les bioessais de croissance et de survie de *H. azteca* ont été faits au Environmental Science Center (Moncton) (annexe 20).

8.3.3.3 Inventaire des organismes benthiques

Les 30 échantillons ont été tamisés à l'eau claire dans des tamis superposés ayant des ouvertures de maille de 4000 µm et 500 µm. Cette opération a été faite délicatement avec un faible jet d'eau courante afin de conserver les organismes intacts. À l'aide d'une loupe éclairante et d'une loupe stéréoscopique, les organismes ont été regroupés et dénombrés selon les grands groupes taxonomiques. Les organismes ont été conservés dans de l'éthanol 70 % jusqu'à l'identification plus poussée par un spécialiste. Après identification, des spécimens de référence ont été conservés dans l'aicool éthylique à 70 % glycériné (3 à 5 %). L'identification et le

dénombrement des organismes benthiques ont été effectués par les Laboratoires SAB inc. (Laboratoires SAB inc., 2001).

8.3.4 Assurance et contrôle de la qualité

Les laboratoires responsables des différents volets d'analyse ont tous appliqué des mesures de contrôle de la qualité. Ces éléments sont présentés dans les rapports Envirolab (2000b), Laboratoires SAB inc. (2001) et Trottier (2001) ainsi qu'à l'annexe 20.

8.3.5 Analyses statistiques

Toutes les données recueillies ont été saisies sur fichier informatique (Excel). Des moyennes, écarts-type et coefficients de variation ont été calculés. Des indices ont aussi été calculés pour décrire la communauté benthique: la densité totale (nombre d'organismes/m^2), la richesse taxonomique (nombre d'espèces par échantillon), la diversité et la régularité. Une forte diversité (>3) indique des conditions de milieu favorable permettant la survie de nombreuses espèces représentées par une faible densité. Une faible valeur de cet indice (<1) correspond à des conditions de vie difficiles permettant à peu d'espèces de s'établir. La régularité réfère à l'abondance relative des différentes espèces, soit à la distribution des individus dans les différents taxons. Une valeur élevée de régularité indique que plusieurs espèces vivent dans le milieu en abondance égale, i.e. qu'il n'y a pas d'espèces dominantes. Par contre, une faible valeur exprime que des espèces sont plus abondantes que les autres. L'indice de régularité varie entre 0 et 1. Le calcul des indices et les notes taxonomiques sont précisées dans le rapport GDG Conseil inc. (2002). La description des analyses statistiques effectuées y est également présentée.

8.4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

8.4.1 Variables physico-chimiques

La profondeur, la température et la présence de végétation mesurées au moment de l'échantillonnage à chacune des stations sont présentées à l'annexe 18. La profondeur moyenne

des stations de la zone exposée (AA) est de 0,38 m (0,28 à 0,45 m). Elle est de 0,40 m (0,36 à 0,42 m) pour les stations de la zone de comparaison (ZZ). Les températures mesurées aux différentes stations varient entre 8 et 10 °C sur une période de quatre jours (16 au 19 octobre). La moyenne, toutes stations confondues, est de 8,7 °C. Les écarts de température peuvent être attribuables à la date d'échantillonnage, aux conditions climatiques au moment de la mesure de même qu'à la profondeur de la station. Il y avait une végétation assez dense à toutes les stations. Elle était particulièrement importante aux stations de la zone exposée (AA).

8.4.2 Sédiments

Les teneurs en métaux confirment les résultats observés lors de l'échantillonnage précédent, soit celui du printemps 2000 (tableau 20). À l'exception de l'arsenic, les métaux pour lesquels des teneurs supérieures sont observées dans le sous-secteur AA, comparativement au sous-secteur de comparaison (ZZ), sont les mêmes. Les résultats des analyses granulométriques démontrent encore une fois la prédominance de l'argile dans le secteur de la zone exposée (AA) (tableau 21). La manipulation des échantillons lors de leur collecte et en laboratoire a également permis de noter la forte présence d'argile marine grise et relativement compacte dans les échantillons de la zone exposée (AA). La texture des sédiments de la zone de comparaison (ZZ) est quant à elle nettement plus sablonneuse. Cette différence observée dans le sous-secteur AA, contrairement à tous les autres secteurs échantillonnés en rive-sud lors de la campagne du printemps (voir chapitre précédent), atteste d'un régime hydrodynamique différent.

8.4.3 Eau de surface

La conductivité moyenne mesurée dans l'eau de surface est très élevée dans le sous-secteur AA (tableau 22). Ces résultats confirment les mesures *in situ* de la campagne précédente. La conductivité est fortement influencée par les concentrations en ions majeurs (Ca, Mg, Na, Cl, $S0_4$), lesquelles sont généralement de l'ordre de quelques dizaines de mg/L (Rondeau, 1993). Une forte alcalinité ainsi qu'une concentration élevée en magnésium ont également été observées aux stations de la zone exposée (AA), allant de pair avec les fortes valeurs de conductivité mesurées dans ce secteur. Bien que les concentrations de certains métaux

dans les eaux de surface du sous-secteur AA soient elles aussi assez élevées, leur «poids» relatif (< 1 mg/L) ne peut à lui seul expliquer les fortes valeurs de conductivité mesurées.

Tableau 20

Teneurs moyennes en métaux dans les sédiments des secteurs de comparaison et de la zone exposée

		Secteur de comparaison (ZZ)			Secteur de la zone exposée (AA)		
Paramètre	Unités	Moyenne	Écart-type	CV (%)	Moyenne	Écart-type	CV (%)
Aluminium extractible	mg/kg	4540	297	7	26600	2608	10
Arsenic extractible	mg/kg	2,2	0,5	24	1,9	0,3	17
Carbone organique total	% C	0,16	0,04	22	0,70	0,17	24
Chrome extractible	mg/kg	20	4	18	100	11	11
Cobalt extractible	mg/kg	5	1	20	22	2	7
Fer extractible	mg/kg	18600	3647	20	43400	8562	20
Lithium extractible	mg/kg	6	1	10	22	2	10
Magnésium extractible	mg/kg	2820	110	4	20400	3130	15
Manganèse extractible	mg/kg	162	24	15	574	76	13
Nickel extractible	mg/kg	27	3	10	57	5	8

Tableau 21

Caractéristiques physiques des sédiments des secteurs de comparaison et de la zone exposée

		Secteur de comparaison (ZZ)			Secteur de la zone exposée (AA)		
Paramètre	Unités	Moyenne	Écart-type	CV (%)	Moyenne	Écart-type	CV (%)
Gravier (> 2 mm)	%	0,4	0,2	52	0,2	0,1	56
Sable très grossier (1 à 2 mm)	%	0,9	0,2	19	1,6	0,5	32
Sable grossier (1 à 0,5 mm)	%	1,5	0,4	25	2,7	1,0	36
Sable moyen (0,5 à 0,25 mm)	%	33,0	2,2	7	9,9	4,1	41
Sable fin (0,25 à 0,125 mm)	%	44,8	3,1	7	10,4	4,2	41
Sable très fin (0,125 à 0,0625 mm)	%	12,4	2,7	22	6,7	0,9	14
Limon (0,0625 à 0,004 mm)	%	5,7	2,2	38	23,1	4,7	21
Argile (< 0,004 mm)	%	1,3	0,3	26	45,4	9,4	21
Somme limon + argile	%	7,0	2,4	35	68,5	10,0	15
% eau	%	19	1	3	42	5	12

Tableau 22

Caractérisation physico-chimique de l'eau de surface (colonne d'eau)

Paramètre	Unités	Secteur de comparaison (ZZ)			Secteur de la zone exposée (AA)			Critères
		Moyenne	Écart-type	CV (%)	Moyenne	Écart-type	CV (%)	
Alcalinité totale	mg/L $CaCO_3$	72	3	4	226	21	9	
Aluminium	mg/L	0,05	0,03	64	0,9	0,4	43	0,087[a]
Arsenic	mg/L	0,0003	0,0001	26	0,0003	0	0	0,005[b]
Chrome	mg/L	<0,001	0	0	0,001	0,001	43	
Cobalt	mg/L	<0,001	0	0	<0,001	0	0	0,005[a]
Conductivité	µmhos/cm	244	13	5	644	55	9	
Fer	mg/L	0,48	0,11	24	0,46	0,21	45	0,3[bc]
Lithium	mg/L	<0,01	0	0	<0,01	0	0	0,067[a]
Magnésium	mg/L	4,7	0,7	15	25	3	12	
Manganèse	mg/L	0,03	0,02	45	0,02	0	59	
Nickel	mg/L	<0,005	0	0	<0,005	0	0	0,025[b]
Solides en suspension totaux	mg/L	3	1	33	21	10	48	

[a] Critères de qualité de l'eau de surface au Québec (vie aquatique, effet chronique), Ministère de l'Environnement du Québec (2001)

[b] Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux visant la protection de la vie aquatique, Conseil canadien des ministres de l'environnement (1999)

[c] Critère en réévaluation

Note: les analyses ont été réalisées sur la portion filtrée (0,45 µm). L'agent de conservation ayant été ajouté plusieurs jours avant la filtration, une partie des métaux liés aux matières en suspension pourrait s'être retrouvée dans la phase dissoute et causer une surestimation des valeurs réelles.

Les teneurs en matières en suspension (tableau 21) sont également plus élevées dans les échantillons du sous-secteur AA que dans ceux du sous-secteur de comparaison (ZZ). Les échantillons des deux secteurs ont été décantés sur le terrain. Compte tenu de la granulométrie plus fine dans le sous-secteur AA, comparativement au sous-secteur ZZ, il n'est pas surprenant que le pourcentage de matières demeurant en suspension après 24 h soit supérieur dans le sous-secteur AA. Ainsi, les concentrations supérieures en métaux et en ions majeurs dans le sous-secteur AA pourraient être attribuables, du moins en partie et tel qu'expliqué précédemment (section 8.3.3.1), à la méthode de préparation ainsi qu'aux délais d'analyses qui peuvent avoir favorisé la mise en solution de métaux à partir de la matière en suspension. Des variations localisées dans les masses d'eaux pourraient également expliquer ces concentrations supérieures. Trois importants tributaires sont immédiatement situés en amont de la zone d'étude: les rivières Saint-François, Yamaska et Richelieu. Pour fins de comparaison, le tableau 23 présente les teneurs moyennes historiques pour certains métaux, l'alcalinité et les solides en suspensions pour ces trois tributaires. On y remarque que les teneurs en métaux, en ions et en matières en suspension sont généralement plus élevées pour la rivière Yamaska. Son embouchure étant située plus en amont que celle de la rivière Saint-François, il donc est impossible que le sous-secteur AA soit davantage influencé par la Yamaska que par la Saint-François. Par contre, il est probable que le sous-secteur ZZ soit préférentiellement influencé par la rivière Saint-François et moins par le mélange des autres tributaires et de la masse d'eau principale en provenance de l'amont. De plus, le sous-secteur AA, davantage abrité et où l'eau circule peu, pourrait aussi être principalement influencé par des sources locales (décharge des Beaulac, ruisseau Camille-Roy, cours d'eau Blondin, ruisseau Fronteau) plutôt que par la masse d'eau générale typique de la rive sud du lac Saint-Pierre. La qualité de ces sources locales peut être très variable selon les caractéristiques de leurs bassins de drainage.

Les valeurs mesurées ont été comparées avec les critères de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique (tableau 22). Les métaux lourds (As, Cr, Co, Ni) et le lithium présentent des teneurs très faibles. Il n'y pas de différence entre les deux sous-secteurs et les concentrations sont inférieures aux critères. Il n'existe pas de critère pour le manganèse et le magnésium. Pour le manganèse, les concentrations sont comparables entre les deux sous-secteurs

échantillonnés, mais la teneur en magnésium est plus élevée dans le sous-secteur AA. L'aluminium y est aussi nettement plus élevé et dépasse le critère. Les teneurs en fer sont du même ordre de grandeur et dépassent légèrement le critère dans les deux cas. Ce dernier critère est cependant en révision. Par ailleurs, les concentrations mesurées sont comparables à celles rapportées par Rondeau (1993) - tableau 23 sauf pour l'aluminium et le magnésium dans le sous-secteur AA. Ceci est probablement attribuable à la concentration plus élevée en matières en suspension qu'on y retrouve. Ces résultats vont dans le même sens que les différences mesurées dans les sédiments.

Tableau 23

Teneurs moyennes historiques dans les eaux du fleuve Saint-Laurent et à l'embouchure des rivières situées en amont de la zone d'étude

Paramètre	Unités	Fleuve (1985-90)[a]	Yamaska (1979-97)[b]	Richelieu (1979-91)[c]	Saint-François (1979-85)[d]
Alcalinité	mg/L $CaCO_3$	81,3	85,25	51,00	46,0
Aluminium	mg/L	0,291	0,55	0,17	0,21
Arsenic	mg/L	0,0006	-	0,0010	-
Chrome	mg/L	0,0021	0,0025	0,0015	0,0015
Cobalt	mg/L	0,0003	-	-	-
Conductivité	µmhos/cm	290	345,4	178,0	154,0
Fer	mg/L	0,3133	0,65	0,22	0,40
Lithium	mg/L	0,0041	-	-	-
Magnésium	mg/L	7,4	8,04	4,60	3,6
Manganèse	mg/L	0,0136	0,08	0,02	0,05
Nickel	mg/L	0,0015	0,0069	0,0050	0,0010
Solides en suspension	mg/L	6,8	56,4	10,0	14,0

[a] pour la masse d'eau longeant la rive-sud entre Montréal et Trois-Rivières (Rondeau, 1993)

[b] Ministère de l'environnement du Québec (1999)

[c] Simoneau (1993)

[d] Primeau (1992)

8.4.4 Bioessais

Le sommaire des résultats de tous les bioessais est présenté au tableau 24. Des résultats plus détaillés sont présentés dans le rapport de Trottier (2001) et à l'annexe 20. Aucun échantillon

du sous-secteur AA ni du sous-secteur ZZ n'a montré une toxicité élevée sur la phase solide ou le sédiment entier. Les échantillons ont montré un potentiel de danger nul ou faible avec la bactérie *Vibrio fischeri*. Les essais de survie et croissance de l'amphipode *Hyalella azteca* n'ont quant à eux montré aucune différence significative entre les échantillons, et les valeurs sont comparables à la croissance et la survie dans les échantillons de contrôle. Les échantillons sont donc considérés non toxiques pour cet organisme. Les essais de toxicité conduits sur l'eau interstitielle des sédiments sont toutefois différents. Les essais montrent une toxicité nulle ou faible pour les échantillons du sous-secteur AA mais élevée pour les cinq échantillons du sous-secteur ZZ. La toxicité de l'eau interstitielle pour l'algue verte *Selenastrum capricornutum* s'est aussi avérée élevée pour trois échantillons du sous-secteur ZZ. En ce qui concerne les échantillons du sous-secteur AA, la toxicité de l'eau interstitielle pour *Selenastrum capricornutum* était modérée.

Tant les essais réalisés avec l'algue *Selenastrum capricornutum* que ceux réalisés avec la bactérie *V. fischeri* sur l'eau interstitielle montrent une tendance similaire. Ils indiquent curieusement que la toxicité de l'eau interstitielle des sédiments du sous-secteur de comparaison (ZZ) serait plus élevée que celle des sédiments du point chaud (sous-secteur AA). Les résultats de l'analyse de l'eau interstitielle (tableau 25) nous indiquent que les concentrations en ions et métaux sont plus élevées dans l'eau interstitielle des sédiments du sous-secteur ZZ que celle du sous-secteur AA et dépassent, dans la plupart des cas, les critères connus pour les eaux de surface (tableau 25). Ceci peut paraître surprenant compte tenu que, inversement, les teneurs dans les sédiments sont supérieures dans le sous-secteur AA. Les analyses granulométriques sur les sédiments ont précédemment montré (tableau 21) que les échantillons de la zone ZZ présentaient une forte teneur en sable. Les sables, comparativement aux argiles qui sont beaucoup plus actives chimiquement, peuvent libérer plus facilement dans la phase aqueuse les contaminants adsorbés sur les particules. Les opérations d'extraction de l'eau interstitielle en laboratoire semblent amplifier ce phénomène et favoriser artificiellement leur biodisponibilité pour les organismes exposés.

Tableau 24

Sommaire des résultats des bioessais sur les échantillons du lac Saint-Pierre

	Microtox (eau interstitielle)	Microtox (phase solide)	Algues (eau interstitielle)	Hyalella azteca (survie) (sédiments entiers)	Hyalella azteca (croissance) (sédiments entiers)
Unité	CI_{50}[a] (UT_{sa})	CI_{50}[a] (mg/L poids sec)	CSE[b] (UT_{sc})	%	poids (mg)
Échantillon					
ZZ-1	**7,6**	32666	3,1	100	0,27
ZZ-2	**6,0**	29929	**6,2**	100	0,34
ZZ-3	**3,6**	63856	3,1	96	0,26
ZZ-4	**4,6**	21313	**25,0**	80	0,34
ZZ-5	**4,9**	57344	**12,4**	100	0,37
AA-1	< 2	3760	1,6	98	0,19
AA-2	< 2	5100	3,1	96	0,23
AA-3	< 2	3754	1,6	96	0,23
AA-4	< 2	3030	1,6	96	0,20
AA-5	< 2	4629	1,6	92	0,23

Critères d'interprétation (potentiel toxique)					
Nul ou faible	< 1,3	-	< 1,3	-	-
Modéré	1,3 - 3,3	-	1,3 - 3,3	-	-
Élevé	**> 3,3**	< 1000[c]	**> 3,3**	-	-

[a] CI_{50} = Concentration inhibitrice médiane, i.e. estimation ponctuelle de la concentration de sédiments qui provoquent une inhibition de 50 % d'une fonction biologique quantitative, par rapport à des organismes de contrôle, après une période d'exposition de donnée.

[b] CSE = Concentration seuil d'effet

[c] CI_{50} < 5000 si le % de particules fines est inférieur à 20, ce qui est le cas pour les échantillons du sous-secteur ZZ

Tableau 25

Teneurs moyennes du pH, des métaux et de l'azote ammoniacal dans l'eau interstitielle des sédiments du secteur de comparaison et de la zone exposée

Paramètre	Unités	Secteur de comparaison (ZZ)			Secteur de la zone exposée (AA)			Critères
		Moyenne	Écart-type	CV (%)	Moyenne	Écart-type	CV (%)	
Aluminium	mg/L	2,6	1,2	44	0,7	0,4	67	0,087[a]
Arsenic	mg/L	0,0066	0,0013	19	0,0062	0,0033	54	0,005[b]
Chrome	mg/L	0,007	0,003	47	0,002	0,001	71	
Cobalt	mg/L	0,006	0,001	24	0,002	0	0	0,005[a]
Fer	mg/L	2,8	1,1	38	2,0	0,3	14	0,3[bc]
Lithium	mg/L	<0,01	0	0	0,01	0	0	0,067[a]
Magnésium	mg/L	6,5	2,9	45	32	3	11	
Manganèse	mg/L	1,11	1,25	113	0,75	0,28	37	
Nickel	mg/L	0,017	0,006	35	<0,005	0	0	0,025[b]
pH		7,2	0,1	1	7,4	0,3	4	
Azote ammoniacal	mg/L	1,354	0,826	61	0,195	0,099	51	1,87[a]

[a] Critères de qualité de l'eau de surface au Québec (vie aquatique, effet chronique), Ministère de l'Environnement du Québec (2001)

[b] Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux visant la protection de la vie aquatique, Conseil canadien des ministres de l'environnement (1999)

[c] Critère en réévaluation

Note: les analyses ont été réalisées sur la portion filtrée (0,45 µm). L'agent de conservation ayant été ajouté plusieurs jours avant la filtration, une partie des métaux liés aux matières en suspension pourrait s'être retrouvée dans la phase dissoute et causer une surestimation des valeurs réelles.

8.4.5 Inventaire des organismes benthiques

Autant dans la zone exposée (AA) que dans la zone de comparaison (ZZ), l'ordre de dominance des phylums était le même: les arthropodes dominaient, suivis par les annélides et les mollusques. Toutefois, la zone de référence comportait une plus grande proportion d'annélides et une plus faible proportion d'arthropodes que la zone exposée. Aussi, bien que la proportion des mollusques était similaire dans les deux zones, le taxon dominant n'était pas le même. Le bivalve sphaéridé *Musculium transversum* était le seul bivalve retrouvé dans la zone exposée, tandis que *Pisidium* était dominant dans la zone de comparaison. Dans les deux zones, les annélides étaient surtout représentés par les vers tubificidés. En ce qui concerne les arthropodes, les différences observées entre les deux zones provenaient surtout de la plus grande proportion d'isopodes dans la zone exposée et de la plus faible proportion, relativement à la zone de référence, de l'amphipode *Gammarus fasciatus* et des diptères chironominés.

Le sommaire des résultats de l'inventaire des organismes benthiques est présenté au tableau 26 et les détails dans les rapports des Laboratoires SAB inc. (2001) et GDG Conseil inc. (2002).

Tel que démontré au tableau 26, la densité de même que la diversité des invertébrés des zones AA et ZZ sont comparables: on n'observe aucune différence significative entre les deux zones. Cependant, la richesse taxonomique est significativement plus élevée dans la zone de comparaison (ZZ) que dans la zone exposée (AA), tandis que la régularité est plus élevée dans la zone exposée. Une analyse de correspondances a également mis en évidence la différence observée entre les communautés benthiques des zones exposée et de comparaison (GDG Conseil inc., 2002).

Bien que la communauté benthique de la zone exposée soit différente de celle de la zone de comparaison à plusieurs égards (fréquence relative de plusieurs principaux taxons recensés, richesse taxonomique, indice de régularité, analyse de correspondances) la communauté de la zone d'impact n'apparaît pas plus perturbée que celle de la zone de comparaison. En effet, l'importante différence de la nature du substrat entre les deux zones semble avoir causé un effet confondant. Une bonne partie des différences observées entre les communautés benthiques peut résulter des différences marquées de type de substrat entre les deux zones (68,5 % de vase [limon

et argile] dans la zone exposée comparativement à 7 % dans la zone de comparaison, en moyenne, où le sable domine). Une argumentation plus détaillée à ce sujet est présentée dans le rapport de GDG Conseil inc. (2002). Les différences observées n'impliquent pas que l'une ou l'autre des zones présente des conditions non favorables au développement d'une faune benthique de bonne qualité. Un indice de diversité supérieur à 3, ainsi qu'un indice de régularité proche de 1 sont tous deux signes d'un milieu sain et peu perturbé. Une régularité plus grande, tel qu'observée dans la zone exposée (AA), indique généralement un milieu moins perturbé. La notion de régularité s'appuie sur le fait que les milieux peu perturbés supportent des communautés constituées de plusieurs espèces, sans qu'aucune espèce en particulier ne soit extrêmement abondante (Klemm *et al.*, 1990). Plusieurs types de perturbation peuvent altérer la composition spécifique en rendant l'environnement inadéquat pour certaines espèces ou en donnant un avantage compétitif à d'autres. Dans les milieux perturbés, quelques espèces deviennent alors dominantes et le nombre d'espèces est réduit, ce qui se traduit par une diminution de la régularité. Le résultat contraire a été observé dans la zone exposée, ce qui suggèrerait que le milieu y serait peu perturbé. Par contre, la richesse taxonomique était plus grande dans la zone de comparaison que dans la zone exposée, suggérant ainsi un milieu de meilleure qualité dans la zone de comparaison. En effet, la richesse taxonomique augmente généralement avec l'augmentation de la qualité du milieu ou la diversité de l'habitat (plus de niches écologiques sont disponibles). La conclusion provenant de la mesure de la richesse taxonomique constraste avec celle provenant de l'indice de régularité. Donc, l'examen de ces indices ne permet pas d'identifier une des deux zones comme étant plus perturbée que l'autre.

Peu de données ont été publiées sur l'état de santé des communautés benthiques dans la portion sud du lac Saint-Pierre. Il faut remonter aux travaux du Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent qui datent de 1974-76 (Langlois *et al.*, 1992). On rapporte une diversité moyenne de 2,05 pour la rive sud du lac Saint-Pierre et une régularité de 0,38. Ces résultats peuvent être qualifiés de faible dans les deux cas. Une densité moyenne de 4238 organismes/m^2 était également rapportée. Les résultats obtenus dans les sous-secteurs AA et ZZ au cours de cette étude se comparent donc avantageusement à ces résultats antérieurs. En fait, aucun des

indicateurs (descripteurs) mesurés en 2000 n'indique un milieu défavorable aux organismes benthiques.

8.4.6 Contrôle de la qualité

Chaque volet de la campagne a fait l'objet d'un contrôle de qualité. La description de ces contrôles et tous les résultats sont joints aux rapports des différents laboratoires (Envirolab, 2000b; Trottier, 2001; Laboratoires SAB inc., 2001). Seuls les faits saillants sont discutés ici.

8.4.6.1 Analyses chimiques

Aucune difficulté analytique n'a été observée. Tous les résultats du contrôle de la qualité respectent les critères d'évaluation de la performance analytique du laboratoire et des termes de références. Des biais ont toutefois été observés pour le magnésium et le cobalt près de la limite de détection. Ces biais n'ont pas d'impact sur l'interprétation des résultats. Les résultats sont en effet de beaucoup supérieurs aux limites de détection et sont conformes au contrôle avec matériau de référence.

8.4.6.2 Bioessais

Les résultats des essais effectués avec les produits ou matériels toxiques de référence ont montré que la sensibilité des organismes et la reproductibilité des essais se situaient à l'intérieur des limites historiques établies dans les laboratoires.

8.4.6.3 Inventaire des organismes benthiques

Un contrôle de qualité du tri a été effectué par la vérification d'au moins 10 % des échantillons. La vérification consiste en un second tri des matières organiques conservées par une personne autre que le trieur d'origine. Le sous-échantillonnage a également été validé en triant trois fractions d'au moins 10 % des échantillons soumis à un sous-échantillonnage. Un coefficient de variation a été calculé à partir des nombres d'organismes totaux récoltés dans les sous-échantillons. Dans les deux cas les résultats de contrôle de qualité montrent des coefficients inférieurs à 10 % ce qui est très acceptable.

Tableau 26

Sommaire des résultats de l'inventaire des organismes benthiques (automne 2000)

	Secteur de la zone exposée						Secteur de la zone de comparaison					
Station / Descripteur	AA1	AA2	AA3	AA4	AA5	**Moyenne AA**	ZZ1	ZZ2	ZZ3	ZZ4	ZZ5	**Moyenne ZZ**
Densité totale (organismes/m^2)	4104	6624	6331	6937	4207	5641 ± 1373^a	4131	6952	10434	16710	5359	8717 ± 5056^a
Richesse taxonomique (nombre d'espèces)	36	38	46	39	40	$\mathbf{40 \pm 4}^a$	46	45	51	63	57	$\mathbf{52 \pm 8}^b$
Indice de diversité	3,60	4,02	4,68	4,35	4,06	$4,14 \pm 0,40^a$	4,06	3,27	3,92	4,04	4,23	$3,90 \pm 0,37^a$
Indice de régularité	0,70	0,77	0,85	0,82	0,76	$\mathbf{0,78 \pm 0,06}^a$	0,74	0,60	0,69	0,68	0,73	$\mathbf{0,68 \pm 0,06}^b$

Note: Pour une même ligne, les moyennes portant des lettres différentes sont significativement différentes (test t, $P < 0,05$).

8.5 BILAN

L'échantillonnage complémentaire réalisé à l'automne 2000 a permis de compléter l'étude selon l'approche choisie (triade) afin d'évaluer une contamination potentielle au point chaud A. Des échantillons d'eau de surface et de sédiments ont été récoltés. Ces derniers ont permis la réalisation de bioessais en laboratoire ainsi que l'identification et le dénombrement des organismes benthiques présents. Les teneurs en métaux confirment les résultats observés lors de l'échantillonnage principal du printemps 2000. Des différences granulométriques ont été observées entre les stations de la zone exposée et de la zone de comparaison.

La communauté benthique de la zone exposée est différente de celle de la zone de comparaison à plusieurs égards, mais n'apparaît pas plus perturbée. Les différences retrouvées s'expliquent par la nature différente du substrat (argile/sable) entre les deux zones qui présentent toutes deux des conditions favorables au développement d'une faune benthique abondante et de bonne qualité. Tous les bioessais réalisés sur les échantillons de sédiments ont démontré un potentiel de danger nul ou faible. Certains bioessais réalisés avec l'eau interstitielle extraite des sédiments de la zone de comparaison ont démontré un niveau de toxicité observable mais qui semble très étroitement lié aux caractéristiques physico-chimiques des échantillons. Les sables, fortement présents dans le secteur de comparaison, peuvent libérer plus facilement les contaminants qui y sont adsorbés comparativement aux argiles.

Les résultats des bioessais et de l'analyse des communautés benthiques confirment donc ceux de la qualité chimique des sédiments qui est présentement bonne pour l'ensemble de la zone étudiée.

Chapitre 9 Conclusions et recommandations

La revue historique des essais de munitions ainsi que l'inventaire géophysique réalisé dans la zone de tir ont permis l'évaluation du nombre de projectiles pouvant se retrouver dans la portion sud du lac Saint-Pierre. Ainsi, entre 250 000 et 300 000 projectiles ne sont pas distribués uniformément dans la zone de tir mais se concentrent davantage dans une zone d'utilisation plus restreinte. À l'intérieur de cette même sous-zone, certains secteurs présentent une concentration de projectiles plus élevée que la moyenne. Trois campagnes d'échantillonnage et d'analyses ont permis d'évaluer la qualité physico-chimique des sédiments de ces secteurs. Les résultats ont révélé qu'un secteur en particulier (AA) montrait certaines teneurs en métaux supérieures à la moyenne et aux teneurs retrouvées dans les secteurs de comparaison. Ces teneurs ne sont toutefois pas exceptionnelles et respectent les critères de qualité de sédiments. Elles se comparent également assez bien aux valeurs des teneurs retrouvées dans la portion nord du lac Saint-Pierre. Il a de plus été démontré que les différences observées avec les secteurs de comparaison étaient probablement davantage attribuables à un contenu supérieur en argile. Les résultats obtenus pour les analyses de composés énergétiques ont démontré l'absence de contamination par ces composés dans tous les échantillons prélevés. Ainsi, l'accumulation de munitions non détonées dans la zone d'impact ne semble pas avoir conduit à l'accumulation de résidus énergétiques détectables.

Les bioessais réalisés en laboratoire ne montrent pas un potentiel de toxicité supérieur pour les sédiments du secteur de la zone exposée (AA). Dans certains cas, le potentiel de toxicité s'est même révélé plus élevé dans le secteur de comparaison. De la même façon, l'inventaire des organismes benthiques n'indique également aucune dégradation du milieu, du moins en 2000. Il appert donc que les activités de tir et la présence de projectiles dans les sédiments n'ont, au moment de l'étude, peu ou pas d'impacts sur la qualité chimique de ces derniers ni de répercussions sur les organismes qui y vivent. La qualité chimique des sédiments n'est actuellement pas préoccupante pour l'environnement. Ces conclusions reposent sur une étude échelonnée sur plusieurs mois et couvrant trois saisons différentes.

L'état actuel des projectiles présents au lac Saint-Pierre semble assez bon pour l'instant mais il est difficile de statuer sur leur temps de dégradation. Compte tenu que plusieurs milliers de projectiles reposent au fond du lac, dont certains depuis plusieurs dizaines d'années, il est possible que leur dégradation puisse éventuellement s'aggraver et libérer des contaminants à un rythme accéléré. Cependant, compte tenu de la densité somme toute assez faible des projectiles, les différences de concentrations pourraient ne pas être davantage perceptibles dans le futur. À la lumière des résultats observés en 2000, il est difficile de recommander une intervention de réhabilitation de la zone sur la seule base de considérations environnementales mais un suivi des principales zones d'accumulation de projectiles devrait être effectué au moins à tous les 10 ans. Dans l'éventualité où d'autres considérations viendraient à être identifiées, ou qu'une augmentation des teneurs en contaminants serait observée, la fréquence des activités de suivi devrait être réévaluée. Dans le cas où un projet de réhabilitation fondé sur des considérations autres qu'environnementales serait envisagé (p.ex. sécurité publique), les données récoltées au cours de cette étude permettront, dans une certaine mesure, d'orienter les efforts en tenant compte des particularités de cet écosystème unique.

Références

Ampleman, G., S. Thiboutot, A. Gagnon, A. Marois, R. Martel and R. Lefebvre (1998). Study of the Impacts of OB/OD Activity on Soils ans Groundwater, at the Destruction Area in CFAD Dundurn. DREV-R-9827, UNCLASSIFIED.

APHA (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th edition. American Public Health Association, Washington, DC.

Beak Consultants Limited (1996). Technical Guidance on Biological Monitoring for Ocean Disposal. Revised Report. Prepared for Environment Canada, 166 p.

Benoît, J., R. Bergeron, J.-C. Bourgeois, S. Desjardins et J. Picard (1987). Les habitats et la faune de la région du lac Saint-Pierre: synthèse des connaissances. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Directions régionales de Montréal et de Trois-Rivières, 123 p.

Benoît, J., J.-C. Bourgeois, S. Desjardins et J. Picard (1988). Plan de conservation et de mise en valeur des habitats et de la faune du lac Saint-Pierre. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Directions régionales de Montréal et de Trois-Rivières, 116 p. et cartes.

Boggavarapu, R., S. Tonagi, G.G. Chase et W. Sisk (1996). Recovery of Acetone from Solvent Extraction of Lagoon Sediments. Adv. Filtr. Sep. Technol., 10 : 452-456.

Brannon, J.M., D.D. Adrian, J.C. Pennington, T.E. Myers et C.A. Hayes (1992). Slow release of PCB, TNT, and RDX from Soils and Sediments. Technical Report EL-92-38.

Brannon, J.M. et T.E. Myers (1997). Review of Fate And Transport Processes of Explosives. US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Technical Report #IRRP-97-2.

Burton, J. (1991). Le lac Saint-Pierre (Zone d'intérêt prioritaire n° 11): Document d'intégration. Environnement Canada, Conservation et protection, Centre Saint-Laurent, 98 p.

Chapman, P.M. (1992). Sediment Quality Triad Approach , dans U.S. EPA Sediment Classification Methods Compendium, pp. 10.1-10.18. Rapport EPA 823-R-92-006. Washington. USA.

Cochran, W.G. (1977). Sampling techniques, third edition. Wiley. 428 p.

Conseil canadien des ministres de l'environnement (1999). Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux visant la protection de la vie aquatique.

Couillard, L. et P. Grondin (1986). La végétation des milieux humides du Québec. Les publications du Québec, 400 p.

Cragin, J.H., D.C. Leggett, B.T. Foley et P.W. Schumacher (1985). TNT, RDX and HMX Explosives in Soils and Sediments: Analysis Techniques and Drying Losses. CRREL Report 85-15, Prepared for U.S. Army Toxic and Hazardous Materials Agency, Report AMXTH-TE-TR-85038.

Criscenti, L.J. (1995). Preliminary Coupled Diffusion/Reaction Model for the Bioremediation of TNT through the Use of Plant Enzymes. Batelle Pacific Northwest Labs, Report #GRAI9823.

Cusson, B., A. Latreille, R. Gagnon, S. Thiboutot et G. Ampleman (2000). Étude environnementale portant sur la qualité des sédiments de la portion sud du lac Saint-Pierre utilisée par le Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions (CEEM) de Nicolet: premier rapport d'étape. Environnement Canada - Région du Québec, Direction de la protection de l'environnement. 50 p. + annexes.

Cusson, B. et A. Latreille (2001). Étude environnementale portant sur la qualité des sédiments de la portion sud du lac Saint-Pierre utilisée par le Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions (CEEM) de Nicolet: second rapport d'étape. Environnement Canada - Région du Québec, Direction de la protection de l'environnement. 32 p. + annexes.

Darrach, M.R., A. Chutjian et G.A. Plett (1998). Trace explosives Signature from World War II Unexploded Undersea Ordnance. Environ. Sci. Technol., 32: 1354-1358.

Désilets, L. et C. Langlois (1989). Variabilité spatiale et saisonnière de la qualité de l'eau du fleuve Saint-Laurent. Environnement Canada - Région du Québec, Centre Saint-Laurent, 112 p.

Écotoxicologie et chimie environnementale, Laboratoire régional - Québec (1995). Analyse granulométrique des sédiments: Méthode par hydrométrie et tamisage. Méthode no CPQ00750. Environnement Canada - Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, 14 p.

Envirolab (2000a). Rapport d'analyses: caractérisation de sédiments dans la portion sud du lac Saint-Pierre (échantillonnage principal). Rapport présenté à la Direction de la protection de l'environnement, Environnement Canada - Région du Québec (contrat KM351-0-4207). Volumes 1 et 2.

Envirolab (2000b). Rapport d'analyses: caractérisation de sédiments dans la portion sud du lac Saint-Pierre (phase complémentaire). Rapport présenté à la Direction de la protection de l'environnement, Environnement Canada - Région du Québec (contrat KM351-0-4030).

Environnement Canada (1981). Les substances toxiques dans le fleuve Saint-Laurent. Résumé. Service de la protection de l'environnement, région du Québec, 91 p.

Environnement Canada (Centre Saint-Laurent) et Ministère de l'environnement du Québec (1992). Critères intérimaires pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent. 28 p.

Environnement Canada (1994). Document d'orientation sur le prélèvement et la préparation de sédiments en vue de leur caractérisation physicochimique et d'essais biologiques. Série de la protection de l'environnement: rapport SPE1/RM/29.

Eriksson, J. (1997). TNT in Sediment from the Baltic Sea: Adsorption and Desorption. Report # GRAI9720.

Frenette, M., C. Barbeau et J.-L. Verrette (1989). Aspects quantitatifs, dynamiques et qualitatifs des sédiments du Saint-Laurent. Hydrotech inc., 185 p.

Gauthier, B. (1980). «Les limites phytogéographiques du Saint-Laurent». *Provancheria* 11, 103 p.

GDG Conseil inc. (2002). Étude du benthos du lac Saint-Pierre: Analyse et interprétation des données. Rapport final présenté à la Direction de la protection de l'environnement, Environnement Canada - Région du Québec. 15 p. + annexes.

Germain, A. et M. Janson (1984). Qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent de Cornwall à Québec (1977-1981). Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Longueuil, Québec, 220 p.

Globensky, Y. (1987). Géologie des basses-terres du Saint-Laurent. Direction générale de l'exploration géologique et minérale. Ministère de l'Énergie et des Ressources, MM85-02, 63 p.

Gratton, L. (1983). Classification des terres humides de la rive sud du lac Saint-Pierre, secteur Baie-du-Febvre. Déry, Rocray et ass. pour le ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche. Rapport technique, 26 p. et cartes.

Gratton, L., J. Labrecque et D. Bérubé (1998). Étude écologique des terres de la Défense nationale à Nicolet. Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la conservation et du patrimoine écologique, 32 p.

Haderlein, S.B. (1996). Specific Adsorption of Nitroaromatic Explosives and Pesticides to Clay Minerals. Environ. Sci. Technol., 30: 612.

Hardy, B., L. Champoux, H. Sloterdijk et J. Bureau (1991). Caractérisation des sédiments de fond du lac Saint-Pierre, fleuve Saint-Laurent. Environnement Canada - Région du Québec, Conservation et protection, Centre Saint-Laurent, 74 p.

Headquarters U.S. Army Armement, Munitions and Chemical Command (1992a). Development of Methodology and Technology for Identifying and Quantifying Emission Products

From Open Burning and Open Detonation Thermal Treatment Methods. Bangbox Test Series, volume 1 (Test Summary), volume 2 (Test Development), volume 3 (Quality Assurance and Quality).

Headquarters U.S. Army Armement, Munitions and Chemical Command (1992b). Development of Methodology and Technology for Identifying and Quantifying Emission Products From Open Burning and Open Detonation Thermal Treatment Methods. Field Test Series A, B et C, volume 1 (Test Summary), volume 2, partie A (Quality Assurance and Quality Control), volume 2, partie B (Quality Assurance and Quality Control Appendices).

Hyd-Eng Geophysics Inc. (2000). Geophysical Survey of the Spatial Distribution of Shells in Lake Sediments at the Nicolet METC Firing Range (Lac Saint-Pierre). Rapport présenté à la Direction de la protection de l'environnement, Environnement Canada - Région du Québec (contrat KM351-9-3853), 24 p. + annexes.

Institut national de recherche scientifique - Eau, Asseau inc. et Centre Saint-Laurent (1992). Fleuve Saint-Laurent: Modélisation hydrodynamique des écoulements en eau libre du tronçon Tracy-lac Saint-Pierre. Rapport 1, volume 1, 176 p.

Jacques, D. et C. Hamel (1982). Système de classification des terres humides du Québec. Laboratoire d'étude des macrophytes aquatiques, département des sciences biologiques, Université du Québec à Montréal. Pour la Direction générale de la faune, ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Québec, 131 p.

Jacques, D. (1986). Cartographie des terres humides et des milieux environnants du lac Saint-Pierre. Corporation pour la mise en valeur du lac Saint-Pierre et ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Trois-Rivières, 70 p. + cartes.

Jenkins, T.F., A.D. Hewitt, M.E. Walsh, T.A. Ranney, J.C. Pennington, S. Thiboutot, G. Ampleman et M.H. Stutz (2002). Explosive Contamination at DoD Firing Ranges. Proceedings of the UXO Symposium, Florida, USA.

Kirshenbaum, M.S. (1982). Reactivity of Explosives/Sediment Mixtures. US Army Armament R&D Command, Dover, Technical Report # ARLCD-TR-82007.

Klemm, D.J., P.A. Lewis, F. Fulk et J.M. Lazorchak (1990). Macroinvertebrate field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface water. EPA/600/4-90/030. 256 p.

Labexcel inc. (2000). Rapport d'analyses des échantillons de sédiments de la zone de tir du lac Saint-Pierre: campagne de pré-échantillonnage (automne 1999). Rapport présenté à la Direction de la protection de l'environnement, Environnement Canada - Région du Québec.

Laboratoires SAB inc. (2001). Caractérisation des sédiments dans la portion sud du lac Saint-Pierre: Tri, identification et dénombrement des organismes benthiques. Rapport final préparé pour la Direction de la protection de l'environnement, Environnement Canada - Région du Québec, 6 p. + annexes.

Lalonde, S. et G. Létourneau (1996). Sensibilité de la télédétection spatiale pour le suivi des milieux humides. Environnement Canada - région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Rapport scientifique et technique ST-60, 102 p.

Langlois, C., L. Lapierre, M. Léveillé, P. Turgeon et C. Ménard (1992). Synthèse des connaissances sur les communautés biologiques du lac Saint-Pierre. Environnement Canada, Conservation et protection, Centre Saint-Laurent. Rapport technique, zone prioritaire no 11, 236 p.

Lavoie, A., F. Boivin, B.G. Bénié et J.M. Dubois (1991). Cartographie quantitative des macrophytes du lac Saint-Pierre avec le capteur MEIS-II. Rapport 91-R-19, présenté au Centre Saint-Laurent, Environnement Canada, 41 p.

Lavoie, G. (1992). Plantes vasculaires susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables au Québec. Direction de la conservation et du patrimoine écologique, Ministère de l'Environnement, 180 p.

Leclerc, P. (1990). Caractérisation des communautés ichtyennes de certains secteurs des lacs Saint-François et Saint-Pierre et utilisation pour la caractérisation de l'état de santé des écosystèmes. Rapport préliminaire présenté au Centre Saint-Laurent, Environnement Canada, 69 p.

Lessard, M. (1991). Analyse multidimensionnelle et discontinuités spatiales des communautés de poissons du lac Saint-Pierre et de l'archipel de Sorel, 135 p.

Li, A. Z., K.A. Marx, J. Walker, et D.L. Kaplan (1997). Trinitrotoluene and Metabolites Binding to Humic Acid. Environ. Sci. Technol., 31: 584.

Mailhot, Y., J. Scrosati, D. Bourbeau, M. Bernard, J.-C. Bourgeois et D. Dolan (1984). Plan de gestion faunique de la ZAC Saint-Pierre. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Trois-Rivières, 234 p.

Major, M.A. et J.C. Amos (1992). Incineration of Explosive Contaminated Soil as a Means of Site Remediation. Technical Report 9214.

Massé, G. et J.R. Mongeau (1974). Répartition géographique des poissons, leur abondance relative et bathymétrie de la région du lac Saint-Pierre. Ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Montréal. Rapport technique, 59 p.

Ministère de l'environnement du Québec (1999). Le bassin de la rivière Yamaska: l'état de l'écosystème aquatique - 1998. Direction des écosystèmes aquatiques.

Ministère de l'environnement du Québec (2001). Critères de qualité de l'eau de surface au Québec.

Ministère de l'Environnement et de la Faune (1996). Le cadre écologique de référence du Québec. Les régions naturelles. Document de travail.

Pennington, J.C. et W.H. Patrick (1990). Adsorption and Desorption of 2,4,6-Trinitrotoluene by Soils. J. Environ. Qual., 19: 559.

Pfeffer, J.L., J.W. Kubarewicz, R.P. Congedo et T.G. Shea (1985). Engineering and Development Support of General DECON Technology for the AMC Installation Restoration Program. Task 4. Desensitization of Explosives Laden Soils/Sediments. Phase II. Laboratory Studies. Report AMXTH-TE-TR 85031.

Philip Services Analytiques (2000). Rapport de conformité et certificats d'analyses pour les matériaux énergétiques dans les échantillons de sédiments récoltés dans le cadre de la campagne principale d'échantillonnage (printemps 2000). Rapport présenté à la Direction de la protection de l'environnement, Environnement Canada - Région du Québec, 30 p.

Primeau, S. (1992). Qualité des eaux du bassin de la rivière Saint-François, 1976 à 1991. Ministère de l'environnement du Québec, Direction de la qualité des cours d'eau.

Rondeau, B. (1993). Qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent 1985-1990, tronçon Cornwall-Québec. Environnement Canada - Région du Québec, Conservation et protection, Centre Saint-Laurent, 250 p.

Saulnier, I. et C. Gagnon (en préparation). Background Levels of Contaminants in the St.Lawrence River Sediments: Implication for Sediment Quality Criteria and Environmental Management. Environnement Canada - région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent.

Serna, C.J., P.R. Bartz, S.B. Donahoe, M. Arbogast et R.F. Weston (1990). Remedial Investigation Report for Lake City Army Ammunition Plant, Volume I. Contract # DAAA15-85-D-0015.

Shepard, F.P. (1954). Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. Journal of Sedimentary Petrology, 24(3): 151-158.

Simoneau, M. (1993). Qualité des eaux du bassin de la rivière Richelieu, 1979 à 1992. Ministère de l'environnement du Québec, Direction de la qualité des cours d'eau.

Spanggord, R.J., W.R. Mabey, T.W. Chou, D.L. Haynes, P.L. Alferness, D.S. Tse et T. Mill (1982). Environmental fate Studies of HMX Screening Studies. Phase I. Contract DAMD17-82-C-2100.

St-Cyr, L., P.G.C. Campbell et K. Guertin (1992). Évaluation de la biomasse et du contenu en métaux traces des plantes aquatiques submergées du lac Saint-Pierre, fleuve Saint-Laurent. Environnement Canada - région du Québec, Conservation et protection, Centre Saint-Laurent, 230 p.

Sylvestre, A., L. Champoux et D. Leclair (1992). Synthèse des connaissances sur les aspects physiques et chimiques de l'eau et des sédiments du lac Saint-Pierre. Environnement Canada, Conservation et protection, Centre Saint-Laurent. Rapport technique, zone d'intérêt prioritaire n° 11, 101 p.

Tetra Tech (1987). Recommended protocols for station positionning in Puget Sound. Prepared for the Puget Sound Estuary Program (PSEP) U.S. EPA, Region 10, Seattle, 22 p.

Thibault, M. (1989). Végétation et facteurs du milieu dans les régions écologiques du Québec méridional. Première partie: la zone feuillue. Tome 1. Direction de la recherche et du développement, Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec. Rapport interne no 313, 259 p.

Thiboutot, S., G. Ampleman, P. Dubé, J. Hawari, B. Spencer and L. Paquet (1997). Protocol for the Characterization of Explosives-Contaminated Sites. DREV-R-9721, UNCLASSIFIED.

Townsend, D. M. et T.E. Myers (1996). Recent Developments in Formulating Model Descriptors for Subsurface Transformation and Sorption of TNT, RDX and HMX. Technical Report IRRP-96-1, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississipi.

Trottier, S. (2001). Caractérisation bioanalytique des sédiments du lac Saint-Pierre (Nicolet, Québec). Environnement Canada - Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Rapport scientifique et technique ST-220, 43 p.

U.S. Air Force, Air Combat Command (1994). Characterization of Emissions Resulting from Thermal Treatment of Selected Explosive Munitions. U.S. Army Dugway Proving Ground Bangbox Study, volume 1, volumes 2-A et 2-B.

U.S. EPA (1991). Superfund Record of Decision: Bangor Ordnance Disposal (USN Submarime Base), Bangor, WA. (First Remedial Action). Report #EPA/ROD/R10-92/037.

U.S. EPA (1993). Superfund Record of Decision: Milan Army Ammunition Plant, O-line Ponds Area, Milan, TN., Report # EPA/ROD/R04-93/160.

U.S. EPA (1994). Method for Nitroaromatics and Nitramines by HPLC. SW846 8330, Second Update.

U.S. EPA (1997). Superfund Record of Decision: Alabama Army Ammunition Plant, Operable Unit 6, (Area B) Study Areas 2,10,16,17 and 22, Childersburg, AL, Rep # EPA/541/R-97/020.

Van Beelen, P. et D. Burris (1995). Reduction of the Explosive 2,4,6-Trinitrotoluene by Enzymes from Aquatic Sediments. Environmental toxicology and Chemistry Journal, 14 (12): 2115-2123.

Voudrias, E.A. et K.S. Assaf (1996). Theoretical Evaluation of Dissolution and Biochemical reduction of TNT for Phytoremediation of Contaminated Sediments. Journal of Contaminant Hydrogeology, 23: 245-261.

Walsh, M.E., T.F. Jenkins, et P.G. Thorne (1995). Laboratory and Field Analytical Methods for Explosives Residues in Soil. Actes du symposium: «Alternatives to Incineration for Disposal of Chemical Munitions and Energetics», 2: 17.

Walsh, M.E. et T.A. Ranney (1998). Determination of Nitroaromatic, Nitramine, and Nitrate Ester Explosives in Water using Solid Phase Extraction and GC-ECD. CRREL Report 98-2.

Walsh, M.E. et T.A. Ranney (1999). Determination of Nitroaromatic, Nitramine, and Nitrate Ester Explosives in Soils using GC-ECD. CRREL Report 99-12.

Weeks, A. et J.H. Simpson (1991). The Measurement of Suspended Particulate Concentration from Remotely-Sensed Data. Int. J. Remote Sensing, 12 (4): 725-737.

Wentsel, R.S., S. Sommerer et J.F. Kitchens (1981). Engineering and Development Support of General Decon Technology for the DARCOM Installation Restoration Program. Task 2. Literature Review on Treatment of Contaminated Lagoon Sediment- Phase I. US Army Toxic and Hazardous Materials Agency, contract DAAK11-80-C0027.

Wetzel, R.G. (1975). Limnology. W.B. Saunders Company. Toronto, 743 p.

Williams, R.T., P.S. Ziegenfuss, P.J. Marks et R.F. Weston (1988). Field Demonstration-Composting of Explosives Contaminated Sediments at the Louisianna Army Ammunition Plant (LAAP). Report # AMXTH-IR-TE-88242.

Young T.M. et W.J. Weber (1995). A Distributed Reactivity Model for Sorption by Soils and Sediments. 3. Effects of Diagenetic Processes on Sorption Energetics. Environmental Science and Technology, 29: 92-97.

Annexes

Annexe 1 Liste des projectiles les plus couramment utilisés au CEEM Nicolet

Calibre	Modèle	Type	Longueur (mm)	Diamètre (mm)	Poids (Plein) (Grammes)
Armes portatives					
9 mm		Ball	15,24	9,00	7,45
7,62 mm	C21	Ball	29,21	7,62	9,530
7,62 mm	M118	Ball	33,32	7,62	11,370
7,62 mm	FFV 553	Tracer	33,70	7,62	9,000
7,62 mm		Tracer	33,00	7,62	9,266
.50 Cal.		Ball	59,00	12,95	46,000
.50 Cal.	M2	AP	58,00	12,95	46,500
.50 Cal.	M17	Tracer	61,00	12,95	44,380
.50 Cal.	C44	AP/T	59,00	12,95	67,000
20 mm	M55A2	TP	76,00	19,56	98,500
20 mm	M220	TP-T	76,83	19,56	95,000
20 mm	M70	MP	76,03	19,56	101,000
20 mm	M56A3	HEI	76,73	19,56	101,000
35 mm		TP-T	179,81	34,91	550,000
35 mm		HE-I	N/K	34,91	550,000
Artillerie					
60 mm	M49A4	HE	294,90	60,07	1,450
60 mm		HE	291,03	60,07	N/K
60 mm	M302A1	Smoke	332,00	60,07	1,860
60 mm	C110	HE ou inert	355,85	60,07	N/K
76 mm	L40A1	SHP	335,02	76,20	N/K
76 mm	L29A5	HESH	335,02	76,20	N/K
3"/50 Cal.		HE ou inert	334,01	76,20	5,900
3"/70 Cal.		HE ou inert	381,00	76,20	6,800
81 mm	L15A4	HE	512,00	80,70	4,320
81 mm	L19A3	Smoke	501,00	80,70	4,320
81 mm	C70	HE	512,00	80,70	4,320
81 mm	NM 123	HE	509,00	80,70	4,200
81 mm	C-47	Illuminating	380,00	80,70	3,500
81 mm	C-105	Illuminating	635,00	80,70	3,750
90 mm	M71A1	HE-T	N/K	90,00	23,3
105 mm How.	M1	HE	488,95	104,90	14,960
105 mm How.	C60	HESH	417,00	104,90	13,730
105 mm How.	L43	HESH	417,00	104,90	10,180
105 mm How.	M60	Smoke W.P.	488,95	104,90	14,500
105 mm How.	M314	Illuminating	488,95	104,90	15,900
105 mm TK		APDS-T	279,00	104,77	5,860
105 mm TK		TPDS-T	279,00	104,77	3,980
105 mm TK		APFSDS-T	481,94	104,95	N/K
105 mm TK		STUP-T	160,00	104,77	3,770
105 mm TK	C71 W/Proj. C16	TPFSDS-T	232,92	104,77	N/K
105 mm TK		HESH	489,00	104,77	11,250
105 mm TK		Smoke BE	472,00	104,77	N/K
105 mm TK	C-10	Proof Shot	165,10	104,77	11,250
105 mm TK	C-9	Proof Shot	228,60	104,77	5,800
106 mm	M344		N/K7	106,00	7,940
155 mm	DM 45A1	Smoke HCBE	675,20	154,94	43,000
155 mm	M110	Smoke WP	698,50	154,94	44,630
155 mm	M107	HE	698,50	154,94	43,000
155 mm	NR269 ERFB	CARGO	958,00	154,94	47,000
155 mm	ERFB	HE	939,00	154,94	47,700

Annexe 2 Poids et composition du remplissage des projectiles et de diverses composantes

Calibre	Poids plein (kg)	Remplissage (kg)	Composition du remplissage
155 mm HE ERFB	47,70		composition B
155 mm ERFB CARGO	47,00		
155 mm HE M107	43,00	6,95	composition B
155 mm SMOKE HCBE	43,00		
155 mm SMOKE M110 W/P	44,63		
106 mm M344	7,94		
105 mm HE M1	14,96		
105 mm HESH C60	13,73		
105 mm HESH L43	10,18		
105 mm SMOKE WP M60	14,50		
105 mm SMOKE BE	15,00	2,0	
105 mm illuminant M314	15,90	0,85	Magnésium
105 mm TK APDS-T	5,86		aluminium / tungstène
105 mm TK TPDS-T	3,98		
105 mm TK STUP-T	3,77		acier trempé
105mmTK HESH	11,25		
105 mm C-10	11,25		
105 mm C-9	5,80		
90 mm HE-T M71A1	10,23		
81 mm C70A1	4,26	0,86	composition B
81mm L15A4 HE	4,32		
81 mm L19A3 SMOKE	4,32		
81 mm C70 HE	4,32		composition B
81 mm NM 123 HE	4,20		
81 mm illuminant C47	3,50		
81 mm illuminant C105	3,75		
3/50 CAL. NON/FRAG	4,26	0,45	
3/50 CAL. HE ou inerte	5,90		
3/70 CAL. HE ou inerte	6,80		
76 mm SH /P	5,37	0,99	HES
60 mm C110 HE ou inerte	2,42	0,19	TNT ou HES
60 Mmm M49A4	1,45		
60 mm Smoke M302A1	1,86		
57 mm PFHE C24	2,40	0,39	composition A5
57 mm P/L-70 WPRF	2,40		
57mmMaster standard W/PRF	2,40		
40 mm HE-T	0,85		
Roquette 2,75"	3,14	tube seulement	
Roquette 2,75" 5001/B	4,20	tête seulement	
Roquette 2,75" MK1	2,95	tête seulement	
Roquette 2,75" M61	2,95	tête seulement	
Roquette 2,75" WDU4A/A	4,22	tête remplie de fléchettes	
Bande de rotation de 155 mm	0,68		Laiton

Annexe 2 (suite) Composition du remplissage des projectiles

Type de projectile	Remplissage
Munition d'arme portative (< 40 mm)	
Ball	Acier, plomb, laiton et zinc
Tracer	Poudre de magnésium
AP	Laiton rouge, plomb, carbure de tungstène
HEI	RDX, cire, poudre aluminium, graphite.
Munition d'artillerie (> 40 mm)	
TPDS-T	Alliage d'aluminium et acier
APDS-T	Alliage d'aluminium et acier
HE TNT	Trinitrotoluene
Smoke HC	Hexachlorethane (HC), potassium, nitrate (aluminium, zinc, oxide)
Illuminating	Poudre noir, magnesium, sodium et nitrate)
PETN	Tetranitrate de pentaerythritol (pentrite)
CompA	Hexagene/cire
CompB	Hexogene/trinitrotoluene
HES	Paraffine (cire), lead free, barium, dye, C-1 solvent green et lécithine

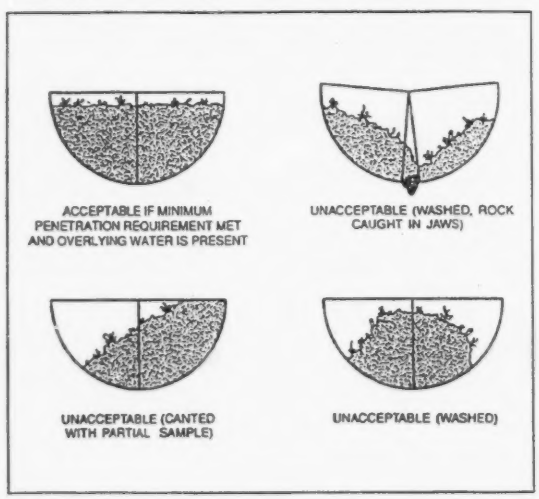
Annexe 3 Types de ratés («DUD's»)

Calibre	Type de projectile
40 mm	MKN61, DM58A2, L60, HETSD
57mm	PFHE C101, NFVT
60mm	C110
3"-50	N.F. HE,
3"-70	N.F. HE, HE Mod.2, MK34 Mod. NC1
76mm	HESH L29A5, Smoke BE L32A5, SH-P avec «base fuse» vivante
81mm	C70A2, SMOKE C106, L15A4 HE, illum. MLE77
84mm	HEAT
2,75"	CRV7 (fusée vivante avec fléchettes),
90mm	HE-T M71A1
105mm How	HE M1, Illuminante M314A3, ERG2, HES + charge. Suppl., ERM1
105mm Tank	HESH
106mm	M344A1
120mm	Mortier HE
155mm	M107 HE, SMOKE DM45A1, ILLUM. M485A2
155mm	ERFB HE (TNT)
155mm	ERFB CARGO (avec 56 bomblets M46 HE non éjectées)
Bomblet M46	M46 HE (56 bomblets HE éjectées sur ricochet)

Annexe 4 Procédure d'échantillonnage des sédiments utilisée dans le cadre de la campagne de pré-échantillonnage (octobre 1999)

- Choisir une station de profondeur représentative dans chaque zone préétablie (dans les zones impactées, voir à être le plus près possible des projectiles tout en respectant les règles de sécurité)
- Immobiliser l'embarcation
- Sécuriser le site (voir description du travail des plongeurs artificiers à l'annexe 5)
- Mesurer la profondeur d'eau
- Enregistrer la position de la station à l'aide d'un GPS différentiel
- Prendre la lecture des paramètres de l'eau avec la multisonde Hydrolab (modèle H_2O) à 0,5 m du fond
- Prélever un échantillon de sédiments avec la benne (procédure décrite dans EC, 1994) dans un endroit exempt de végétation
- Déposer la benne dans un bac (plastique ou stainless) et vérifier que celle-ci est complètement fermée, remplie au ¾ (minimum), son contenu disposé à l'horizontale et non lessivé en surface (figure ci-dessous)
- Vider le contenu dans un seau de 5 L en polyéthylène bien identifié et doublé de sacs qualité alimentaire
- Homogénéiser les sédiments à l'aide d'une cuiller en stainless.
- Répéter s'il y a lieu le prélèvement pour une récolte totale d'environ 2 kg de sédiments (il est probable qu'un seul prélèvement soit suffisant)
- Bien fermer le sac, ajouter deux «ice pack» dans le seau et mettre le couvercle
- Brosser et rincer la benne et le bac entre chacune des stations.

Exemples d'acceptabilité d'échantillons de sédiments pris à la benne



Source : Tetra Tech (1987) dans Beak (1996)

Annexe 5 Instructions Permanentes d'Opérations (pré-échantillonnage, octobre 1999)

Références:

A. C-09-153-001/TS-000, Dépôts et installations fixes de munitions, Mod 3-1997-10-01, pp.5-4-3.
B. C-74-300-B01/AG-000, Méthodes et directives d'entretien des munitions, 1987-11-12.
C. B-GL-304-003/TS-0A1, Opérations terrestres et opération aériennes tactiques - Instructions sur les champs de tir et à l'entraînement, vol. 3, pp. 7-2-1.

Note: Cet ordre ne discute et ne décrit que la marche à suivre (selon les références A et B) afin d'assurer le contrôle des opérations et des mesures de précaution à prendre au cours des travaux qui seront effectués lors de la réalisation de la campagne de pré-échantillonnage d'automne 1999 au lac Saint-Pierre. Dans le cadre de l'entente de collaboration scientifique, les travaux de pré-échantillonnage serviront d'exercice de validation pour l'échantillonnage exhaustif qui aura lieu au printemps 2000. Le but de cette validation est de vérifier que les directives de cet ordre sont expliquées de manière compréhensible pour les opérateurs et que l'exécution des différentes étapes décrites dans cet ordre ne constituent pas un risque inacceptable pour la santé et la sécurité du personnel.

Introduction

1. La caractérisation des sédiments du secteur du champ de tir situé au lac Saint-Pierre a pour but d'évaluer l'impact des tirs de projectiles sur ce secteur de l'écosystème fluvial, de permettre la formulation de recommandations sur l'utilisation de cette portion du fleuve et de dégager des conclusions quant à la pertinence d'une éventuelle restauration.

Objectifs

2. Les travaux de pré-échantillonnage, qui seront réalisés entre le 25 et le 29 octobre 1999, ont pour but de:

a. mettre au point le protocole d'échantillonnage des sédiments en fonction des appareils utilisés, des volumes nécessaires, du contrôle de la qualité et des mesures de sécurité;
b. évaluer le temps nécessaire aux fins de prélèvement des échantillons en vue de la campagne principale du printemps 2000;
c. faire une reconnaissance des zones à échantillonner (zones d'impacts et sites de comparaison) et prélever un échantillon dans chaque zone pour fins de validation (analyses ultérieures pour granulométrie, matières organiques totales et pourcentage d'eau); et
d. mesurer les paramètres physico-chimiques in situ à chacune des 19 stations.

Programme de pré-échantillonnage

3. Personnel. Le personnel présent lors de la campagne de pré-échantillonnage et faisant partie de l'équipe de travail est tel que décrit dans le tableau suivant:

Nom	Organisation	Responsabilité
M. Alain Latreille	Environnement Canada	Coordonnateur scientifique
Mme Brigitte Cusson	Environnement Canada	Chargée de projet
M. Vincent Jarry	Environnement Canada	Administrateur de l'entente
Capt. Gilles Belley	Ministère de la Défense Nationale – DAPM	Coordonnateur de l'entente
M. Stéphane Jean	Ministère de la Défense Nationale – CRDV	Responsable de l'environnement (MDN)
M. Raymond Gagnon	Ministère de la Défense Nationale – CEEM (Nicolet)	Gérant de site
Les plongeurs	Employés par la compagnie NOTRA	

4. Localisation des zones. 19 stations seront identifiées par la mise en place de drapeaux numérotés et par coordonnées avec l'utilisation d'instruments GPS lors de la semaine précédant les travaux d'échantillonnage. Les stations à échantillonner seront localisées à l'intérieur des secteurs dénommés «zones d'impacts» (où la concentration de projectiles serait élevée selon les données historiques) et «sites de comparaison».

5. Procédure d'échantillonnage. Une fois l'équipement préparé et mis à bord des embarcations, les équipes de plongeurs suivies de l'équipe des scientifiques d'Environnement Canada et du MDN procéderont vers la station à échantillonner (zone d'impact ou site de comparaison). Une fois l'embarcation des plongeurs sur place et immobilisée, les activités s'exécuteront comme suit:

a. l'embarcation des scientifiques demeurera à 350 m (selon la référence C) de l'embarcation des plongeurs jusqu'au moment où la zone en question aura été sécurisée par une équipe de plongeurs;
b. les plongeurs choisiront une station exempte de végétation et de profondeur représentative dans la zone à échantillonner où les mesures suivantes seront enregistrées:
   (1) la profondeur de l'eau à cet endroit (plongeurs),
   (2) la position de la station (à l'aide d'un système GPS) (plongeurs), et
   (3) les variables physico-chimiques de l'eau avec une multisonde à 0.5 m du fond (MDE);
c. un échantillon de sédiments sera prélevé avec une benne;
d. la benne sera déposée dans un bac afin de vérifier si celle-ci était complètement fermée, remplie au ¾ (minimum), son contenu disposé à l'horizontale et non lessivé en surface. Si l'échantillon est jugé acceptable par les représentants d'EC, les sédiments seront transférés dans un seau bien identifié et doublé de sacs qualité alimentaire (MDE);
e. répéter, s'il y a lieu, le prélèvement pour une récolte totale d'environ 2 kg de sédiments;
f. sceller le sac, ajouter 2 «ice pack» dans le seau et mettre le couvercle (MDE); et

g. brosser et rincer la benne et le bac entre chacune des stations (MDE).

6. En plus de la récolte des échantillons mentionnés ci-haut, les plongeurs seront responsables de la collecte de 20 échantillons de sédiments supplémentaires. Ceux-ci devront être récoltés le plus près possible des projectiles. Une description de la procédure d'échantillonnage ainsi que les contenants seront fournis sur le site par les aviseurs scientifiques du CRDV (MDN).

7. Procédure de plongée. Les procédures de plongée s'exécuteront telles que définies par la compagnie NOTRA (plongeurs artificiers). Avant le début de toute opération les plongeurs auront la chance de se familiariser avec l'équipement ainsi que les procédures d'échantillonnage.

Programme de santé et sécurité

8. Sécurité. Suite à l'historique de tir du site, on doit présumer la présence de projectiles non détonés: le prélèvement des échantillons de sédiments par des plongeurs artificiers est donc requis. Avant le début des opérations, les instructions de sécurité seront données par le coordonateur de l'entente (MDN).

9. Avant tout travail sur le lac, le coordonateur de l'entente (MDN) sera responsable de s'assurer que les agences suivantes auront été informées des activités de l'équipe de travail:

Agence	**Numéro de contact**
Le contrôleur de tirs du site	(819) 293-2004 ext 2244
L'Hôpital du Christ-Roi Nicolet	(819) 293-2071
La station de pompiers de Nicolet	(819) 293-4545
Hélicoptère[1] L'ETAH 430 (Officier de service) pagette: Hélimax Trois-Rivières SAR (Trenton)	 (418) 844-5000 ext 5764 (418) 874-5781 (819) 377-3344 1-800-267-7270
Le Service du trafic maritime/Montréal	(450) 928-4543
Le Service du trafic maritime/Québec	(418) 648-7459
L'Hôpital Sacré-Coeur à Montréal – chambre hyperbarre	(514) 338-2000 ext 2777

10. Lors de l'échantillonnage, les points de sécurité suivants seront respectés en tout temps:

a. il n'y aura aucune plongée si du tir de projectiles 'live' se produit et que les plongeurs estiment que cela représente un danger;
b. la profondeur des échantillons ne dépassera pas 15cm;

[1] Une piste d'atterrissage dédiée n'est pas disponible. Toutefois l'hélicoptère pourrait atterrir dans les environs de l'Hôpital Saint-Joseph, rue Sainte-Julie à Trois-Rivières.

c. le lieu précis de la prise d'échantillon à la benne sera déterminé par les plongeurs artificiers après inspection visuelle et sondage des sédiments à la tige. Aucun risque inacceptable ne sera pris par les membres de l'équipe des plongeurs artificiers;
d. si les plongeurs retrouvent un projectile dont l'état physique est douteux, aucun échantillonnage à la benne ne sera effectué et ils auront à contourner le projectile afin d'identifier un autre endroit pour la prise d'échantillon;
e. deux représentants d'EC pourront assister les plongeurs artificiers lors des opérations d'échantillonnage. Toutefois, l'embarcation des scientifiques devra demeurer à un minimum de 350 m de l'embarcation des plongeurs jusqu'à ce qu'ils aient sécurisé le site. L'embarcation des scientifiques pourra alors se rapprocher de la zone d'échantillonnage; et
f. la communication entre les embarcations et le contrôleur du champ de tir sera maintenue en tout temps. S'il y a une perte de communication entre ceux-ci, toute opération cessera jusqu'au moment où la communication sera rétablie.

11. Mesures d'urgence. En cas d'urgence, les membres de l'équipe du projet donneront les premiers soins aux victimes et aviseront le contrôleur de tir afin que celui-ci puisse communiquer avec les agences appropriées. Un rapport d'incident/d'accident sera fourni à DAPM et au MDE moins de 48 heures après l'incident/l'accident. L'administrateur de l'entente (MDE) sera avisé le plus rapidement possible via téléphone ou téléavertisseur.

Soutien logistique

12. Ressources et matériel. Les ressources et équipements suivants seront fournis par le MDN et le MDE et seront nécessaires afin de mener à bien la phase de pré-échantillonnage:

a. deux embarcations seront fournies en tout temps, dont le J.R. Pinard et une autre embarcation pour le personnel de soutien et scientifique. Le choix des embarcations sera déterminé selon les sites de prélèvement, la distance à parcourir et la profondeur de l'eau aux sites de prélèvement. Les embarcations suivantes pourraient être requises: le J.R. Pinard, le Paul Gendron, l'aéroglisseur et le bac. Étant donné que le CEEM n'a pas de personnel pour piloter les embarcations, SNC TEC fournira le personnel requis ;
b. des radios de communication portatives HT1000 seront fournies par le CEEM;
c. un système GPS portatif avec une précision de ± 10 m sera fourni par le MDN;
d. des cuissardes seront fournies par le CEEM;
e. une génératrice (30 W minimum) et
f. Le MDE fournira:
   (1) deux petites bennes Eckman,
   (2) une petite benne Ponar,
   (3) une benne Ponar standard,
   (4) un bac de réception de la benne et de son contenu,
   (5) une multisonde Hydrolab modèle H_20 (pH, température, conductivité, oxygène dissous),

(6) des seaux de 5 L en polyéthylène (doublés de sacs qualité alimentaire),
(7) des «ice packs», étiquettes et crayons, et
(8) une brosse et du savon pour le nettoyage des accessoires.

13. Communication. Durant les opérations sur le lac Saint-Pierre, la communication sera établie par radio et se fera comme suit:

a. la fréquence 2 (primaire) ou 3 (secondaire) sera utilisée entre les membres de l'équipe du projet et le contrôleur de tirs;
b. la fréquence 1 sera utilisée entre les deux embarcations; et
c. la communication entre les plongeurs sera exécutée telle que définie par la compagnie NOTRA.

14. Si la communication entre l'équipe du projet et le contrôleur de tirs est rompue, toute opération cessera immédiatement jusqu'au moment où les communications seront rétablies. Un système DGPS sera utilisé afin d'enregistrer la position exacte des stations échantillonnées.

15. Aménagement du calendrier de tir. Le gérant du site de Nicolet sera responsable de gérer l'horaire des travaux du pré-échantillonnage avec celui des activités de tirs de la compagnie SNC TEC afin de coordonner de manière optimale et sécuritaire les horaires en question et de mener à bien les deux activités. À cet effet, l'équipe se rencontrera chaque matin pour la planification des travaux à effectuer au courant de la journée et la remise à jour du calendrier de la semaine. En cas de conflit d'horaire, les travaux d'échantillonnage auront préséance afin de rencontrer les échéanciers fixés.

16. Transport. Le transport des membres du projet sera fourni par l'entremise de véhicules de location ainsi que des véhicules du MDN.

17. Accommodations. Les accommodations pour les membres du projet seront sous la charge du coordonateur de l'entente (MDN). Les membres du projet se présenteront aux Suites de Laviolette, à Trois-Rivières, pour obtenir leurs clés de chambre le 25 octobre 1999.

18. Nourriture. Les besoins en nourriture seront organisés par le coordonateur de l'entente (MDN).

19. Média. Toute question provenant des journalistes sera dirigée vers le coordonateur de l'entente (MDN) qui assurera la coordination avec les partenaires.

Annexes:

A: Carte des zones d'impacts/zones à échantillonner
B: Terminologie

Liste de distribution:

Action

M. André Richard, Directeur du centre des essais, SNC TEC
M. Raymond Gagnon, Gérant de site, Nicolet
M. Alain Latreille, Environnement Canada
Mme Brigitte Cusson, Environnement Canada
M. Richard Doull, NOTRA

Information

M. Barry Smith, Directeur intérimaire – gestion du programme de munitions
M. Denis Sanschagrin, Surintendant CEEM Nicolet
M. Vincent Jarry, Environnement Canada
Dr. Sonia Thiboutot, Centre de recherches pour la défense Valcartier
Dr. Guy Ampleman, Centre de recherches pour la défense Valcartier
M. Stéphane Jean, Centre de recherches pour la défense Valcartier
Maj. François Lauzon, Directorat – Protection de l'environnement 3-3
Lt. Judith Bennett, Officier des Affaires publiques

Capt Gilles Belley
Directeur – gestion du programme de munitions 4-3-2
Officier d'environnement

Terminologie

Projectile: Composante (avec ou sans fusée, avec ou sans matière énergétique) d'une munition qui est propulsée à l'extérieur du canon.

Avec fusée: projectile avec moyen d'initiation.

Sans fusée: projectile sans moyen d'initiation.

Avec matière énergétique: projectile qui contient des matériaux énergétiques (ex.: TNT, RDX, HMX, pyrotechnique, propulseur) dans au moins une de ses constituantes (ex.: fusée, corps du projectile, moteur).

Raté («DUD»): Au sens strict, projectile rempli de matériaux énergétiques devant détoner lors de l'impact mais qui n'a pas fonctionné tel que prévu pour une raison quelconque. Compte tenu des opérations spécifiques effectuées au CEEM (Nicolet), la définition est élargie et inclut tous les projectiles comportant au moins une composante énergétique, même s'ils n'ont pas de moyen d'initiation.

Inerte: Projectile qui ne contient aucune matière énergétique et pouvant être rempli de substituts constitués de mélange de cire («cire d'abeille») lorsqu'on veut analyser seulement ses propriétés physiques et balistiques.

MDE: Ministère de l'environnement (Environnement Canada)

MDN: Ministère de la Défense Nationale

CRDV: Centre de recherches pour la défense Valcartier

CEEM: Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions

DPGM: Directeur Gestion du programme de munitions

Annexe 6 Détermination de la matière organique par incinération

CONSEIL
DES PRODUCTIONS
VÉGÉTALES
DU QUÉBEC

Méthode : MA-2
Analyse : Matière organique
Section : sol minéral/organique
Date : Mai 1988
Page : 1 de 1

Agdex 533

DÉTERMINATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE PAR INCINÉRATION

(applicable au fumier et à tout sol)

Appareils :

Four à moufle
Creusets 30 ml

Procédure :

1) Sécher l'échantillon de sol ou de fumier pendant une nuit à 105°C.
2) Nettoyer les creusets en les chauffant au rouge puis laisser refroidir au dessicateur pendant 10 minutes.
3) Prendre le poids (P_0) du creuset vide. Ajouter de 1 à 2 g de sol séché ou du fumier. Noter le poids final (P_1).
4) Calciner le sol au four à 375°C pendant 16 heures.
5) Laisser refroidir dans un dessicateur et peser le creuset contenant les cendres (P_2).

Calculs :

% Matière organique = $(1 - (P_2 - P_0/P_1 - P_0)) \times 100$

Calcul d'estimé par équation de régression (pour les sols)

Références :

1) Bell, D.F. (1964). Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils. *J. Soil Sci. 15*: 84-92.
2) Dionne, J.L. et R. Gagné (1981). Méthodes d'analyse chimique des fumiers. Non publié.

Annexe 7 Coordonnées des stations échantillonnées dans le cadre de la campagne principale (printemps 2000)

Secteur	Station	Longitude UTM*	Latitude UTM*	Date	Heure
Points chauds					
A	A1	680015	5120344	30/05/00	08:55
	A2	680634	5120368	01/06/00	09:25
	A3	680633	5120183	01/06/00	10:15
	A4 / A5 / A6	680555	5120613	01/06/00	11:25
	A7 - A10 - A11	680380	5120523	01/06/00	14:20
	A8	680512	5120535	08/06/00	10:00
	A9	680372	5120422	12/06/00	09:25
B	B1	677135	5120285	03/06/00	09:00
	B2	677113	5120069	03/06/00	09:45
C	C1	678499	5119536	03/06/00	10:30
	C2	676975	5118934	03/06/00	11:25
	C3	677779	5119218	08/06/00	09:00
	C4	676381	5118573	08/06/00	11:10
	C5	674968	5118149	08/06/00	13:35
D	D1	676946	5117976	03/06/00	13:05
	D2	677725	5118451	03/06/00	13:45
	D3	678932	5118935	03/06/00	14:40
	D4	676255	5117678	06/06/00	09:25
E	E1	673199	5116825	30/05/00	14:45
	E2	672669	5116923	30/05/00	15:20
	E3	673819	5117386	08/06/00	14:25
	E4	673333	5117334	08/06/00	15:00
	E5	671089	5115605	14/06/00	12:55
	E6	670987	5116088	14/06/00	11:25
	E7	672004	5116347	14/06/00	10:35
F	F1	671336	5115331	31/05/00	14:30
	F2	670877	5114781	31/05/00	15:25
	F3	670454	5114664	02/06/00	11:50
	F4	671173	5115156	14/06/00	13:35
G	G1	669212	5113602	31/05/00	10:30
	G2	669903	5113944	31/05/00	11:05
	G3	670877	5114464	31/05/00	11:30
	G4	671847	5115017	31/05/00	13:40
	G5	668991	5112982	12/06/00	10:25
	G6	669540	5113254	12/06/00	11:30
	G7	670453	5113711	12/06/00	13:15
	G8	671656	5114526	12/06/00	14:40
H	H1	672672	5115914	30/05/00	09:45
	H2	673094	5116067	30/05/00	10:20
	H3	673506	5116372	30/05/00	11:15

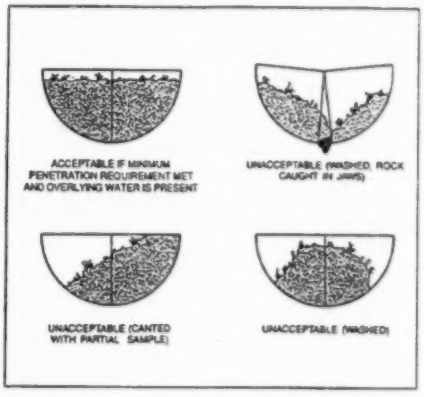
Secteur	Station	Longitude UTM*	Latitude UTM*	Date	Heure
	H4	673155	5116184	30/05/00	13:15
	H5	673669	5116601	30/05/00	14:00
	H6 - H8 - H9	673551	5116482	06/06/00	11:15
	H7	672868	5116393	14/06/00	09:30
intermédiaire	Y1	679499	5120715	29/05/00	14:45
	Y2	679522	5119564	29/05/00	15:45
	Y3	669967	5114930	02/06/00	11:15
	Y4	676378	5118158	06/06/00	09:50
	Y5 / Y6 / Y7	673965	5118393	07/06/00	11:00
	Y8	674060	5118384	07/06/00	14:05
	Y9	679468	5120663	07/06/00	15:10
	Y10	676277	5118160	08/06/00	11:55
	Y11	679492	5119612	09/06/00	09:25
	Y12	663645	5113950	09/06/00	10:35
	Y13	663590	5113862	09/06/00	11:00
	Y14	663692	5113869	09/06/00	11:45
	Y15	667549	5112965	09/06/00	13:10
	Y16	667498	5112886	09/06/00	13:40
	Y17	669964	5114825	12/06/00	13:45
comparaison	Z1	665366	5111147	02/06/00	10:00
	Z2	665351	5111070	02/06/00	10:30
	Z3 / Z4 / Z5	664918	5116403	02/06/00	14:15
	Z6	664929	5116306	02/06/00	14:40
	Z7	660146	5113945	05/06/00	10:20
	Z8	660086	5113853	05/06/00	11:00
	Z9	660177	5113861	05/06/00	13:40
	Z10	660041	5111756	05/06/00	14:25
	Z11	660001	5111682	05/06/00	15:15
	Z12	672702	5121212	06/06/00	13:35
	Z13	672697	5121114	06/06/00	14:10
	Z14	676505	5122450	06/06/00	15:05
	Z15	678799	5122579	07/06/00	08:50
	Z16	678804	5122476	07/06/00	09:35
	Z17	676500	5122354	07/06/00	10:20

*Système géodésique NAD 83, zone 18

Annexe 8 Procédure d'échantillonnage des sédiments utilisée dans le cadre de la campagne principale (printemps 2000)

- Au début de la journée, identifier, à l'aide d'une bouée, la position des stations préalablement définies (longitude, latitude)
- À partir de l'embarcation principale (Pinard), valider la position de la station à échantillonner à l'aide d'un DGPS (corriger pour la distance DPGS-bouée)
- Immobiliser l'embarcation principale au site d'échantillonnage [le bateau d'EC demeure à 350 m jusqu'à ce que le site ait été sécurisé]
- Descendre le plongeur à l'eau afin de sécuriser le site - Reculer l'embarcation principale
    - Le lieu précis de la prise d'échantillon à la benne est déterminé par le plongeur artificier après inspection visuelle et sondage des sédiments à la tige. Aucun risque inacceptable ne doit être pris par le plongeur artificier.
- Retour de l'embarcation principale au site d'échantillonnage
- Descente du plongeur avec la benne pour le prélèvement d'un échantillon de sédiments (procédure décrite dans EC, 1994) dans un endroit exempt de végétation. La profondeur de l'échantillon ne doit pas dépasser 15 cm. Retour du plongeur à bord.
- Mesurer la profondeur d'eau
- Enregistrer la position de la station à l'aide d'un GPS différentiel (système géodésique NAD83, zone 18)
- L'embarcation d'EC vient se placer à l'épaule
- Noter les résultats de la lecture des paramètres de l'eau (température, pH et conductivité) avec la multisonde Hydrolab (modèle H_2O) à 0,5 m du fond
- Déposer la benne dans un bac (plastique ou acier inoxydable) et vérifier que celle-ci soit complètement fermée, remplie au ¾ (minimum), son contenu disposé à l'horizontale et non lessivé en surface (figure ci-dessous)
- Photographier l'échantillon de sédiments
- Inspection des sédiments par le plongeur artificier de l'équipe #2 afin de retirer les éclats de projectiles présents
- À l'aide d'une cuiller en acier inoxydable, vider le contenu dans un seau de 10 L ou 20 L en polyéthylène bien identifié et doublé de sacs qualité alimentaire (placer une étiquette d'identification de l'échantillon entre les deux sacs, sur le seau et sur le couvercle). Si nécessaire, enlever l'argile de Champlain.
- Noter, sur la fiche de terrain (annexe 9), les observations pertinentes (texture, couleur, ...)
- Répéter le prélèvement pour une récolte totale d'environ 4 L de sédiments
- Bien fermer les sacs, ajouter deux «ice pack» dans le seau et mettre le couvercle
- Brosser, laver (savon biodégradable) et rincer la benne et le(s) bac(s) entre chacune des stations

Exemples d'acceptabilité d'échantillons de sédiments pris à la benne



Source : Tetra Tech (1987) dans Beak (1996)

Annexe 9 Fiche de terrain

# échantillon	
Date	
Heure	
Coordonnées UTM	
Profondeur (m)	
Nombre de coups benne	
Photo #	
Description de la végétation	
SÉDIMENTS Couleur	
Texture	
Odeur	
Organismes	
Observations (ex: argile enlevée)	
PHYSICO-CHIMIE Température (°C)	
Conductivité (µS/cm)	
pH	
Commentaires	

Annexe 10 Matrice de calcul (plan d'échantillonnage)

Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions (CEEM) de Nicolet
Planification de l'échantillonnage des sédiments
Puissance des tests et répartition de l'effort d'échantillonnage

Nombre total de prélèvements	80
Nombre de stations avec triplicatas	3
Nombre total de stations	74

Niveau de significativité (e.g. 0.05)	0,05
Puissance des tests (e.g. 0.8)	0,8
Coefficient de variation du contaminant	66%

Type de station	**Proportion**	**Nombre**
Sites de contrôle	20,0%	15
Hors des points chauds	20,0%	15
Points chauds	60,0%	44

Différences détectables

Points chauds vs reste du champ de tir	**49%**
Points chauds vs sites de contrôle	**49%**
Point chaud exceptionnel	289%

Zalpha	*1,644853*		
Zbeta	*0,8416214*		
A	*0.0098108*		
a	*-0.151935*	*a"*	*0.0561*
b	*0,0196216*	*b"*	*0.4356*
c	*0.0392432*	*c"*	*0,2282*
c'	*0,0392432*		
gamma2+	*-0.53193*	*gamma4+*	*2,885*
gamma2-	*0.4926868*	*gamma4-*	*3.756*
gamma3+	*-0.53193*		
gamma3-	*0.4926868*		

Annexe 11 Instructions Permanentes d'Opérations (échantillonnage principal, printemps 2000)

Références:

A. C-09-153-001/TS-000
B. C-74-300-B01/AG-000
C. Rapport Sommaire des Événements – Entente de Collaboration – Phase pré-échantillonnage daté 25 – 28 octobre 1999
D. B-GL-304-003/TS-0A1

Note: Cet ordre ne discute et ne décrit que la marche à suivre (selon les références) afin d'assurer le contrôle des opérations et des mesures de précaution à prendre au cours des travaux qui seront effectués lors de la réalisation de la campagne d'échantillonnage du printemps 2000 au lac Saint-Pierre.

Introduction

1. La caractérisation des sédiments du secteur du champ de tir situé au lac Saint-Pierre a pour but d'évaluer l'impact des tirs de projectiles sur ce secteur de l'écosystème fluvial, de permettre la formulation de recommandations sur l'utilisation de cette portion du fleuve et de dégager des conclusions quant à la pertinence d'une éventuelle restauration.

Objectifs

2. Les travaux d'échantillonnage ont pour but de prélever des échantillons de sédiments à 80 stations afin de déterminer leurs teneurs en contaminants.

Programme d'échantillonnage

3. Horaire. La campagne principale d'échantillonnage se déroulera du 29 mai au 23 juin 2000.

4. Personnel. Le personnel potentiellement présent lors de la campagne d'échantillonnage et faisant partie de l'équipe de travail est tel que décrit dans le tableau suivant:

Nom	Organisation	Responsabilité
M. Alain Latreille	Environnement Canada	Coordonnateur scientifique
Mme Brigitte Cusson	Environnement Canada	Chargée de projet
M. Vincent Jarry	Environnement Canada	Administrateur de l'entente
Capt. Gilles Belley	Ministère de la Défense nationale – DPMG	Coordonnateur de l'entente

Nom	Organisation	Responsabilité
M. Stéphane Jean	Ministère de la Défense nationale - CRDV	Responsable de l'environnement
Mme Sonia Thiboutot	Ministère de la Défense nationale - CRDV	Chercheur
M. Guy Ampleman	Ministère de la Défense nationale - CRDV	Chercheur
M. Raymond Gagnon	Ministère de la Défense nationale - CEEM Nicolet	Gérant du site
Les plongeurs	Employés par la compagnie NOTRA	

5. Composition des équipes de plongeurs. Deux équipes de plongeurs (#1 et #2) seront fournies par la compagnie NOTRA. Chaque équipe consistera d'un plongeur artificier (#1) et d'un plongeur de sécurité (#2). Une équipe de plongeurs sera située sur chaque embarcation. Un seul plongeur sera à l'eau à la fois, soit le plongeur artificier de l'équipe #1. Le plongeur de sécurité de l'équipe veillera à la sécurité du plongeur artificier de son équipe lorsque celui-ci sera à l'eau. Un superviseur/plongeur de NOTRA veillera à la sécurité des plongeurs des deux équipes.

6. Localisation des sites d'échantillonnage. Chaque matin, les stations planifiées pour la journée seront identifiées par la mise en place de bouées aux coordonnées pré-déterminées (DGPS). Les stations à échantillonner seront localisées à l'intérieur des secteurs dénommés «zones d'impacts» (où la concentration de projectiles serait élevée selon les données historiques et géophysiques) et «sites de comparaison» (annexe A).

7. Procédure d'échantillonnage. Une fois l'équipement préparé et mis à bord des embarcations, l'embarcation #1 (qui transporte l'équipe #1 des plongeurs) suivie de l'embarcation #2 (qui transporte l'équipe #2 des plongeurs ainsi que les scientifiques d'EC) se dirigeront vers la première station à échantillonner. Une fois l'embarcation des plongeurs (équipe #1) sur place et immobilisée, les activités s'exécuteront comme suit:

a. l'embarcation #2 demeurera à 350 m (selon la référence D) de l'embarcation #1 jusqu'au moment où la station aura été sécurisée par les plongeurs de l'équipe #1;
b. le plongeur de l'équipe #1 choisira une station exempte de végétation et de profondeur représentative dans le secteur à échantillonner où les mesures suivantes seront enregistrées:
   (1) la profondeur de l'eau à cet endroit (plongeurs),
   (2) la position de la station (à l'aide d'un système GPS), et
   (3) les variables physico-chimiques de l'eau avec une multisonde à 0,5 m du fond (MDE);
c. un échantillon de sédiments sera prélevé avec une benne manuelle par le plongeur artificier de l'équipe #1;
d. l'embarcation #2 pourra alors se rapprocher;
e. la benne sera déposée dans un bac afin de vérifier si elle était complètement fermée, remplie au ¾ (minimum), son contenu disposé à l'horizontale et non lessivé en surface. Si

l'échantillon est jugé acceptable par les représentants d'EC, les sédiments seront inspectés (procédure «FFE») par le plongeur artificier de l'équipe #2 et, si sécuritaire, seront transférés dans un sceau bien identifié et doublé de sacs;

f. la procédure de prélèvement sera répétée, s'il y a lieu, pour une récolte totale d'environ 2 kg de sédiments. Suite à la récolte des échantillons à cette station, l'embarcation #1 se dirigera vers la prochaine station à échantillonner;
g. le sac sera par la suite scellé, 2 «ice pack» seront ajoutés dans la chaudière et le couvercle fermé;
h. la benne et le bac seront alors lavés au savon et à la brosse et rincés entre chacune des stations;
i. lorsque les travaux à la station seront complétés, l'embarcation #2 se dirigera vers la prochaine station à échantillonner où les plongeurs de l'embarcation #1 auront déjà sécurisé le site;
k. les mêmes procédures seront suivies.

8. En plus des échantillons discutés ci-haut, si possible, les plongeurs seront responsables de la collecte de 20 échantillons de sédiments récoltés le plus près possible de projectiles. Une description de la procédure d'échantillonnage leur sera fournie sur le site même ainsi que les contenants.

9. Procédure de plongée. Les procédures de plongée s'exécuteront telles que définies par la compagnie NOTRA (plongeurs artificiers). Avant le début de toute opération les plongeurs auront la chance de se familiariser avec l'équipement ainsi que les procédures d'échantillonnage.

Programme de santé et sécurité

10. Sécurité. Suite à l'historique de tir du site, on doit présumer la présence de projectiles non détonés: le prélèvement des échantillons de sédiments par des plongeurs artificiers est donc requis. Avant le début des opérations, les instructions de sécurité seront données par l'Officier de sécurité des explosifs du CEEM. Avant que les équipes de travail débutent leurs opérations sur le lac, le contrôleur du champ de tir sera avisé des endroits à échantillonner afin de lui permettre de coordonner les activités sur le lac.

11. Avant tout travail sur le lac, le coordonnateur de l'entente/MDN sera responsable de s'assurer que les agences suivantes auront été informées des activités de l'équipe de travail:

Agence	**Numéro de contact**
Le contrôleur de tirs du site	(819) 293-2004 ext 2244
L'Hôpital du Christ-Roi Nicolet	(819) 293-2071

Agence	Numéro de contact
La station de pompiers de Nicolet	(819) 293-4545
Hélicoptère[2]	
L'ETAH 430 (Officier de services)	(418) 844-5000 ext 5764
pagette:	(418) 874-5781
Hélimax Trois-Rivières	(819) 377-3344
SAR (Trenton)	1-800-267-7270
Le Service du trafic maritime/Montréal	(450) 928-4543
Le Service du trafic maritime/Québec	(418) 648-7459
L'Hôpital Sacré-Coeur à Montréal – la chambre hyperbarre	(514) 338-2000 ext 2777

12. Avant le début des travaux, les plongeurs recevront une démonstration («dry run») de la procédure à suivre lors de la prise d'échantillons dans le lac. Lors de l'échantillonnage, les points de sécurité suivants seront respectés en tout temps:

a. la profondeur des échantillons ne dépassera pas 15 cm;
b. le lieu précis de la prise d'échantillon à la benne sera déterminé par les plongeurs artificiers après inspection visuelle et sondage des sédiments à la tige. Aucun risque inacceptable ne sera pris par les membres de l'équipe des plongeurs artificiers;
c. si les plongeurs retrouvent un projectile dont l'état physique est douteux, aucun échantillonnage à la benne ne sera effectué et ils auront à contourner le projectile afin d'identifier un autre endroit pour la prise d'échantillon;
d. un représentant d'EC pourra assister les plongeurs artificiers lors des opérations d'échantillonnage. Toutefois, l'embarcation des scientifiques #2 devra demeurer à un minimum de 350 m de l'embarcation #1 jusqu'à ce que la station à échantillonner ait été déclarée sécuritaire par les plongeurs. L'embarcation des scientifiques pourra alors se rapprocher de la zone d'échantillonnage; et
e. la communication entre les embarcations et le contrôleur du champ de tir sera maintenue en tout temps. S'il y a une perte de communication entre ceux-ci, toute opération cessera jusqu'au moment où la communication sera rétablie.

13. Mesures d'urgence. En cas d'urgence, les membres de l'équipe du projet donneront les premiers soins aux victimes et aviseront le contrôleur de tir par radio ou cellulaire afin que celui-ci puisse communiquer avec les agences appropriées. Un rapport d'incident/d'accident sera fourni à DPMG et à MDE moins de 48 heures après l'incident/l'accident. L'administrateur de l'entente/MDE sera avisé le plus rapidement possible via téléphone ou téléavertisseur.

[2] Une piste d'atterrissage dédiée n'est pas disponible. Toutefois l'hélicoptère pourrait atterrir dans les environs de l'Hôpital Saint-Joseph, rue Sainte-Julie à Trois-Rivières.

Soutien logistique

14. Ressources et matériel. Les ressources et équipements suivants seront fournis par le MDN et MDE et seront nécessaires afin de mener à bien la campagne principale d'échantillonnage:

a. une embarcation (Robert Pinard) sera fournie par la compagnie SNC TEC pour les plongeurs de l'équipe #1[3].
b. des radios de communication portatives HT1000 seront fournies par le CEEM;
c. un système DGPS portatif avec une précision de ± 5 m sera fourni par la compagnie NOTRA;
d. MDE fournira:
   (1) une embarcation (Potamos),
   (3) deux petites bennes Ponar,
   (5) des bacs de réception pour les bennes et leur contenu,
   (6) une multisonde Hydrolab (pH, T, conductivité),
   (7) des chaudières de 5 L, 10 L et 20 L en polyéthylène (doublées de sacs qualité alimentaire),
   (8) des «ice packs», étiquettes et crayons, et
   (9) des brosses et du savon pour le nettoyage des accessoires.

15. Communication. Durant les opérations sur le lac Saint-Pierre, la communication sera établie par radio et se fera comme suit:

a. la fréquence 2 (primaire) ou 3 (secondaire) sera utilisée entre les membres de l'équipe du projet et le contrôleur de tirs;
b. la fréquence 1 sera utilisée entre les deux embarcations; et
c. la communication entre les plongeurs sera exécutée telle que définie par la compagnie NOTRA.

16. Si la communication entre l'équipe du projet et le contrôleur de tirs est rompue, toute opération cessera immédiatement jusqu'au moment où les communications seront rétablies. Un système DGPS sera utilisé afin d'enregistrer la position exacte des stations échantillonnées.

17. Aménagement du calendrier de tir. Le gérant du site de Nicolet sera responsable de gérer l'horaire des travaux d'échantillonnage avec celui des activités de tirs de la compagnie SNC TEC afin de coordonner de manière optimale et sécuritaire les horaires en question et de mener à bien les deux activités. À cet effet, l'équipe se rencontrera chaque matin pour la planification des travaux à effectuer au courant de la journée et la remise à jour du calendrier de la semaine. En cas de conflits d'horaire, les travaux d'échantillonnage auront préséance afin de rencontrer les échéanciers fixés.

---

[3] Étant donné que le CEEM n'a pas de personnel pour piloter les embarcations, SNC TEC devra aussi fournir le personnel requis.

18. Transport. Le transport des membres du projet sera fourni par l'entremise de véhicules de location ainsi que des véhicules du MDN.

19. Hébergement. Chaque membre du projet sera responsable de son hébergement.

20. Nourriture. Les besoins en nourriture seront la responsabilité de chaque membre du projet.

21. Média. Toute question provenant des journalistes sera dirigée vers le coordonnateur de l'entente (MDN) qui assurera la coordination avec les partenaires.

Annexes:

A: Carte des zones d'impacts/zones à échantillonner
B: Terminologie
C: Équipes de plongée et embarcations

Liste de distribution:

Action

M. André Richard, Directeur du centre des essais, SNC TEC
M. Raymond Gagnon, Gérant du CEEM (Nicolet)
M. Alain Latreille, Environnement Canada
Mme Brigitte Cusson, Environnement Canada
NOTRA

Information

M. Barry Smith, Directeur p.i. – Gestion du programme de munitions
M. Robert Gauthier, Directeur – gestion du programme de munitions p.i. 4.
M. Denis Sanschagrin, Surintendant CEEM Nicolet
M. Vincent Jarry, Environnement Canada
Dr. Sonia Thiboutot, Centre de Recherches pour la Défense, Valcartier
Dr. Guy Ampleman, Centre de Recherches pour la Défense, Valcartier
M. Stéphane Jean, Centre de Recherches pour la Défense, Valcartier
M. Jean-Pierre Ouellette, Directorat – Gestion des Affaires 2

Capt Gilles Belley
Directeur – gestion du programme de munitions 4-3-2
Officier d'environnement

Annexe B aux
Instructions Permanentes d'Opérations (échantillonnage principal)
29 mai – 23 juin 2000

Terminologie

Projectile: Composante (avec ou sans fusée, avec ou sans matière énergétique) d'une munition qui est propulsée à l'extérieur du canon.

Avec fusée: projectile avec moyen d'initiation.

Sans fusée: projectile sans moyen d'initiation.

Avec matière énergétique: projectile qui contient des matières énergétiques (ex.: TNT, RDX, HMX, pyrotechnique, propulseur) dans au moins une de ses constituantes (ex.: fusée, corps du projectile, moteur).

Raté («DUD»): Au sens strict, projectile rempli de matières énergétiques devant détoner lors de l'impact mais qui n'a pas fonctionné tel que prévu pour une raison quelconque. Compte tenu des opérations spécifiques effectuées au CEEM (Nicolet), la définition est élargie et inclut tous les projectiles comportant au moins une composante énergétique, même s'ils n'ont pas de moyen d'initiation.

Inerte: Projectile qui ne contient aucune matière énergétique et pouvant être rempli de substituts constitués de mélange de cire («cire d'abeille») lorsqu'on veut analyser seulement ses propriétés physiques et balistiques.

MDE: Ministère de l'environnement (Environnement Canada)

MDN: Ministère de la Défense Nationale

CRDV: Centre de Recherches pour la Défense Valcartier

CEEM: Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions (Nicolet)

DPGM: Directeur Gestion du programme de munitions

Annexe C aux
Instructions Permanentes d'Opérations (échantillonnage principal)
29 mai – 23 juin 2000

Équipes de plongée et embarcations

Embarcation #1 (Robert Pinard)	Embarcation #2 (Potamos, fourni par MDE)
1 pilote de SNC TEC	1 pilote du MDE
1 représentant du MDN	Équipe de scientifiques
1 gérant de projet NOTRA	1 plongeur artificier
1 plongeur-superviseur	1 plongeur de sécurité
1 plongeur artificier	Visiteurs
1 plongeur de sécurité	

Annexe 12 Protocole de préparation des échantillons

Homogénéisation des échantillons de sédiments

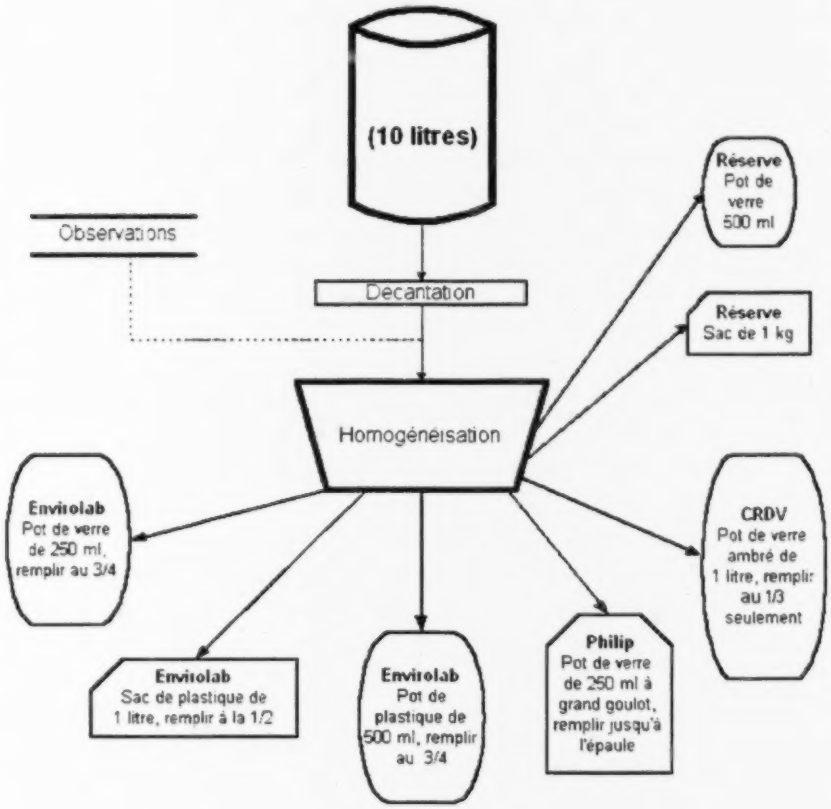
Les préposés doivent toujours porter des gants pour éviter toute contamination lors des manipulations. Les préposés doivent changer de gants entre chaque échantillon.

1. Si les échantillons de sédiments contiennent beaucoup d'eau libre, il faut laisser reposer l'échantillon pendant 24 heures à 4°C.
2. L'eau surnageante est décantée avec précaution afin d'éviter la perte de particules fines de sédiments. Noter la quantité retirée et s'il y a lieu la perte de particules.
3. Prendre note, sur la fiche de laboratoire, des caractéristiques visuelles et olfactives de l'échantillon (couleur, texture, odeurs particulières, présence d'organismes, etc).
4. Transférer tout l'échantillon dans un plat en acier inoxydable pour mélanger le sédiment.
5. Retirer et noter les éléments pouvant nuire à l'homogénéisation (bivalves, cailloux, branchages, etc)
6. L'homogénéisation manuelle se fait avec une tige d'acier inoxydable. Le temps d'homogénéisation devra être de 15 minutes (utiliser un chronomètre).
7. Vérifier visuellement l'uniformité de la couleur et de la texture du sédiment. Si l'échantillon semble hétérogène, poursuivre l'étape 6 pendant 5 minutes additionnelles ou jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène (texture et couleur).
8. Avec une cuillère en acier inoxydable, transférer le sédiment dans les pots correspondants pour les analyses (ceux-ci seront fournis par le client avec les indications nécessaires).
9. Entre chaque échantillon homogénéisé, laver le plat, la tige et la cuillère avec de l'eau du robinet et du savon sans phosphates (ex : Neutrad), rincer trois fois avec l'eau du robinet et ensuite rincer trois fois avec de l'eau déminéralisée. Rincer une dernière fois avec un solvant approprié et faire sécher pour éliminer toute trace de ce dernier. Le plat doit être complètement sec avant de débuter l'homogénéisation d'un nouvel échantillon.

---

* Le plat en acier inoxydable doit être exempt d'égratignures afin d'éviter une contamination de métaux. Il devra être remplacé au besoin.

Répartition des sédiments vers les laboratoires d'analyse



Annexe 13 Méthodes d'analyses

Référence: Envirolab (2000a).

SECTEUR INORGANIQUE

MÉTHODES – SOLS/SÉDIMENTS

NO	ANALYSE	MÉTHODE	RÉFÉRENCE	LIMITE DE DÉTECTION (mg/kg)
	Aluminium extractible	Digestion HNO_3/HCl à 100°C Analyse par absorption atomique (oxyde nitreux/ acétylène)	MENVIQ 90.03/210 Mét. 1.3 Std Meth 1992 18^e ed 3111 D	10
036	Arsenic extractible	Digestion HNO_3/$Mg(NO_3)_2$) à 100°C Perte au feu à 550°C pendant 2 heures. Analyse par absorption atomique avec génération des hydrures	MENVIQ 90.02/210 As 1.1 Std Meth 1992 18^e ed 3114 C	0.1
	Béryllium extractible	Digestion HNO_3/HCl à 100°C Analyse par absorption atomique (oxyde nitreux/ acétylène)	MENVIQ 90.03/210 Mét. 1.3 Std Meth 1992 18^e ed 3111 D	0.8
102	Cadmium extractible	Digestion HNO_3/H_2O_2 à 100°C Analyse par absorption atomique (four au graphite)	EPA 3050 Std Meth 1992 18^e ed 3111 B	0.02
140	Carbone organique total	Traitement avec HCl Dosage au four LECO	Centre de recherche minérale (COREM) (sous-traitant)	100
163	Chrome extractible	Digestion HNO_3/HCl à 100°C Analyse par absorption atomique (oxyde nitreux/ acétylène)	MENVIQ 90.03/210 Mét. 1.3 Std Meth 1992 18^e ed 3111 D	2
	Cobalt extractible	Digestion HNO_3/HCl à 100°C Analyse par absorption atomique (air/acétylène)	MENVIQ 90.03/210 Mét. 1.3 Std Meth 1992 18^e ed 3111 B	2
192	Cuivre extractible Cuivre (sol)	Digestion HNO_3/HCl à 100°C Analyse par absorption atomique (air/acétylène)	MENVIQ 90.03/210 Mét. 1.3 Std Meth 1992 18^e ed 3111 B	1

NO	ANALYSE	MÉTHODE	RÉFÉRENCE	LIMITE DE DÉTECTION (mg/kg)
	Fer extractible	Digestion HNO_3/HCl à 100°C Analyse par absorption atomique (air/acétylène)	MENVIQ 90.03/210 Mét. 1.3 Std Meth 1992 18^e ed 3111 B	2
	Lithium extractible	Digestion HNO_3/HCl à 100°C Analyse par absorption atomique (air/acétylène)	MENVIQ 90.03/210 Mét. 1.3 Std Meth 1992 18^e ed 3111 B	1
-	Granulométrie & sédimentométrie	Tamis et hydromètre. BNQ 2501-025	Technisol (sous-traitant)	0.1%
	Magnésium extractible	Digestion HNO_3/HCl à 100°C Analyse par absorption atomique (air/acétylène)	MENVIQ 90.03/210 Mét. 1.3 Std Meth 1992 18^e ed 3111 B	5
	Manganèse extractible	Digestion HNO_3/HCl à 100°C Analyse par absorption atomique (air/acétylène)	MENVIQ 90.03/210 Mét. 1.3 Std Meth 1992 18^e ed 3111 B	1
325	Mercure total	Digestion K_2SO_4/HNO_3/$KMrO_4$/$K_2S_2O_8$ à 95% Analyse par absorption atomique – vapeurs froides	Std Meth 1992 18^e ed 312 B	0.01
336	Nickel extractible	Digestion HNO_3/HCl à 100°C Analyse par absorption atomique (air/acétylène)	MENVIQ 90.03/210 Mét. 1.3 Std Meth 1992 18^e ed 3111 B	1
412	Plomb extractible	Digestion HNO_3/HCl à 100°C Analyse par absorption atomique (air/acétylène)	MENVIQ 90.03/210 Mét. 1.3 Std Meth 1992 18^e ed 3111 B	2
	Sélénium extractible	Digestion HNO_3/$Mg(NO_3)_2$) à 100°C Perte au feu à 550°C pendant 2 heures. Analyse par absorption atomique avec génération des hydrures	MENVIQ 90.02/210 As 1.1 Std Meth 1992 18^e ed 3114 C	0.1
-	Tungstène total	Activation neutronique (A-06)	Centre de recherche minérale (COREM) (sous-traitant)	1

NO	ANALYSE	MÉTHODE	RÉFÉRENCE	LIMITE DE DÉTECTION (mg/kg)
540	Zinc extractible Zinc (sol)	Digestion HNO_3/HCl à 100°C Analyse par absorption atomique (air/acétylène)	MENVIQ 90.03/210 Mét. 1.3 Std Meth 1992 18e ed 3111 B	1

Équipement de mesure utilisé (métaux) : Spectrophotomètre d'absorption atomique (AA), Varian SpectrAA-20 (avec four GTA-96 au besoin) ou SpectrAA-220.

N.B.: La préparation des échantillons s'effectue selon les techniques du Guide méthodologique de caractérisation des sédiments, Environnement Canada, Centre St-Laurent – Ministère de l'Environnement du Québec, avril 1992.

Secteur: Organique

MÉTHODES - Sols/Sédiments

NO	ANALYSE	MÉTHODE	RÉFÉRENCE	LIMITE DE DÉTECTION
608B	BPC (Congénère)	Extraction au bain ultrason hexane Dosage par GC/MS *GC HP5890SerieII avec colonne DB-5: 30m, 0.25 mm*	MA 400 BPC 1.0, 1998 (17)	0.01 mg/kg
2000 2002	HAP	Extraction au soxhlet avec dichlorométhane Purification sur silice Dosage par GC/MS *GC HP5890 Serie II avec colonne DB5MS: 30m, 0.25mm*	EPA 3540 (2) MENVIQ 90.02/410 -HAP 1.2 (18) EPA 8270 (4)	0.01 mg/kg

RÉFÉRENCES (Pour le secteur organique)

2- EPA 3540: Soxhlet extraction, Tests methods for evaluating solid waste, physical/chemical Methods September 1986.

4- EPA 8270 : Gas chromotography/mass spectrometry for semivolatile organics Capillary column technique. Tests methods for evaluating solid waste, physical/chemical Methods September 1986.

17- CEAEQ. Détermination des biphényles polychlorés. Méthode par congénères. MA400-BPC1.0 (1998).

18- Sols - Détermination des hydrocarbures polycycliques aromatiques, extraction et purification avec C-18, Si, dosage par chromatographie en phase liquide, MENVIQ 90.02/410-HAP 1.2

Annexe 14 Programme d'assurance et de contrôle de la qualité

Extrait du devis d'analyse chimique pour la Caractérisation des sédiments dans la portion sud du Lac Saint-Pierre préparé par Environnement Canada - Région du Québec, mai 2000

1 Volet inorganique

1.1 Exigence de la qualité

Le laboratoire doit suivre les séquences proposées pour les différents paramètres demandés. Ces séquences comprennent l'analyse de :

- Solution étalon
- Matériau de référence certifié
- Solution LDM dont la concentration de l'analyte d'intérêt se situe entre 5 et 10 fois la limite de détection méthodologique calculée
- Duplicata
- Échantillon enrichi
- Blanc de méthode
- Échantillon inconnu

Une compilation statistique de ces différents éléments permettra d'évaluer la qualité des résultats obtenus. Les séquences d'analyses suggérées pour les travaux analytiques sont regroupées aux figures 1.1, 1.2 et 1.3.

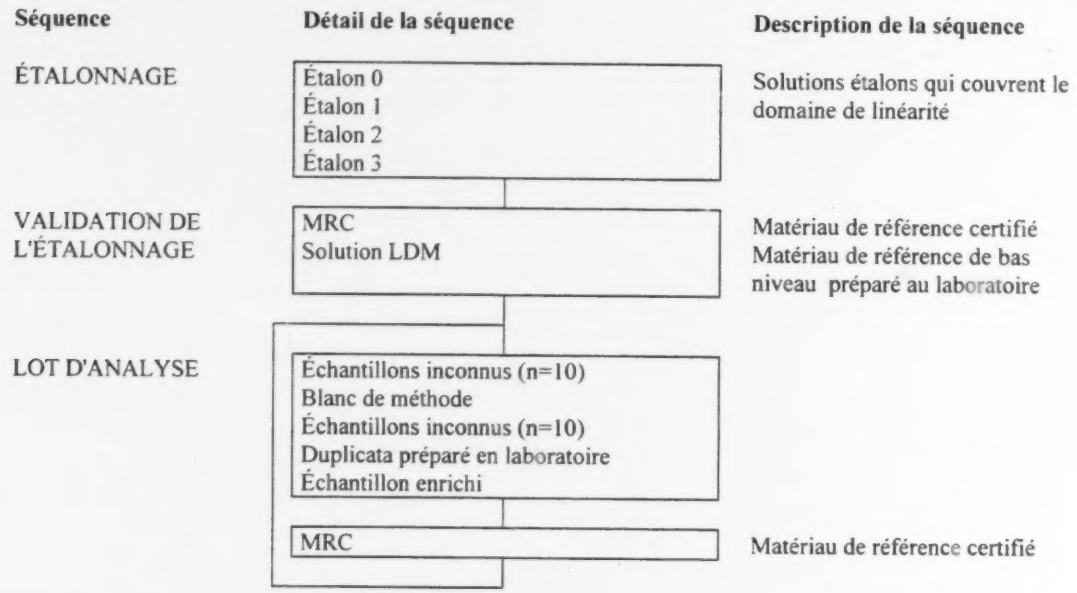


Figure 1.1 Séquence d'analyse pour les métaux

Les méthodes utilisées pour la préparation et la digestion des sédiments pour l'analyse des métaux sont celles recommandée dans la section 2.1 du *Guide méthodologique de caractérisation des sediments* (Avril 1992). **Cependant, il n'est pas souhaitable que toute la portion du sédiment soit pulvérisée afin de passer au travers du tamis de nylon de 80 mailles par pouces carré. On doit respecter la granulométrie du sédiment, c'est-à-dire seulement briser les agrégats sans altérer les particules elle-mêmes.**

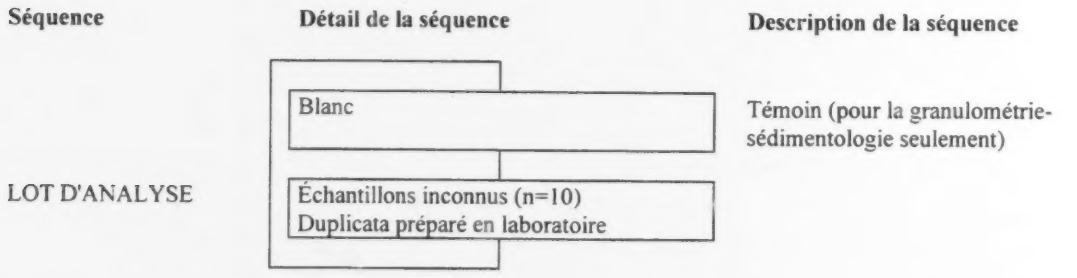


Figure 1.2 Séquence d'analyse pour la granulométrie-sédimentologie et le pourcentage d'humidité

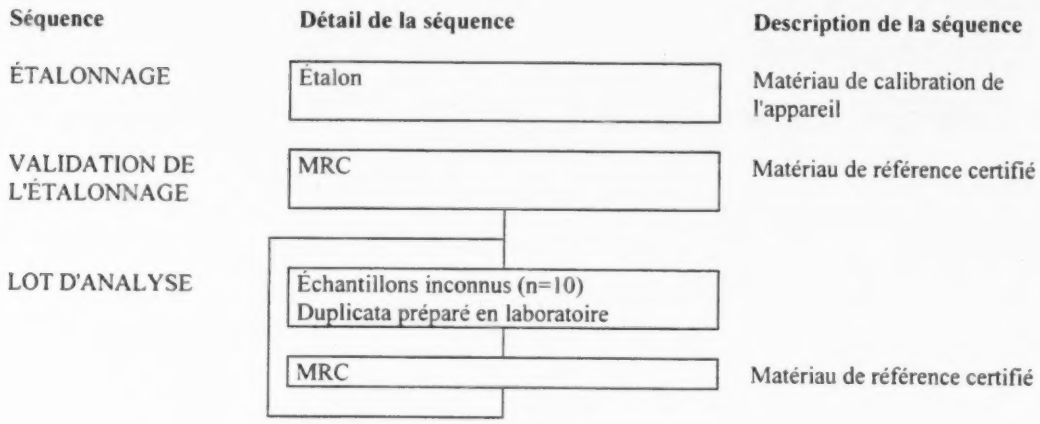


Figure 1.3 Séquence d'analyse pour le carbone organique total

1.2 Critères de performance

Tous les résultats d'analyse des différents paramètres soumis doivent rencontrer les critères de performance analytiques présentés aux tableaux 1.1 et 1.2.

Tableau 1.1
Limites de détection méthodologiques maximales permises

Paramètre	LDM (mg/kg)[1]
Aluminium total extractible	20
Arsenic total extractible[2]	0.1
Béryllium total extractible	0.8
Cadmium total extractible[3]	0.1
Chrome total extractible	4
Cobalt total extractible	10
Cuivre total extractible	5
Fer total extractible	10
Lithium total extractible	10
Magnésium total extractible	10
Manganèse total extractible	50
Mercure total[4]	0.02
Nickel total extractible	4
Plomb total extractible[3]	4
Sélénium total extractible[2]	0.2

Tungstène total extractible [5]	voir note
Zinc total extractible	10
Carbone organique total	0.2 %
Humidité (%)	n.a.
Granulométrie - sédimentologie	Classification de Wenthworth
Gravier	
Sable très grossier	
Sable grossier	
Sable moyen	
Sable fin	
Sable très fin	
Limon	
Argile	

1 Toutes les LDM sont exprimées en mg/kg de poids sec, lorsque applicable

2 L'arsenic et le sélénium sont analysés par la technique de génération d'hydrures

3 Le cadmium et le plomb sont analysés par la technique de four au graphite

4 Le mercure est analysé par vapeur froide

5 La LDM normalement obtenue par ICP est de 10 mg/kg. Cette limite est insuffisante dans le cadre du présent projet. Le laboratoire devra proposer une méthode alternative plus performante pour doser le tungstène. Si les LDM suggérées dans les propositions ne sont pas satisfaisantes, le tungstène pourra être exclu du mandat analytique.

n.a. : ne s'applique pas

Tableau 1.2
Critères de performance exigés pour les analyses concernant le contrôle de l'étalonnage, le contrôle de la contamination, l'exactitude et la précision

Paramètre de contrôle	Échantillons de contrôle	Critères	
Contrôle de l'étalonnage			
Coefficient de corrélation	Solutions d'étalonnage	$r = \geq 0{,}995$	
Contrôle de la contamination			
Concentration mesurée	Blanc de méthode	$\leq$ LDM	
Exactitude			
Écart	MRC	± 20 %	
Récupération	Échantillon enrichi*	80 - 120 %	
Précision			
Différence relative ($D_{dupl.}$)	Duplicata	si $X_{dupl.} \leq 3$ LDM	± 100 %
		si 3 LDM $< X_{dupl.} \leq 20$ LDM	± 40 %
		si $X_{dupl.} > 20$ LDM	± 20 %

* Concentration de l'ajout > 10 LDM.

$X_{dupl.}$ Valeur moyenne des duplicatas

2 Volet organique

2.1 Exigences de la qualité

Le laboratoire doit suivre les séquences proposées pour les différents paramètres demandés. Ces séquences comprennent l'analyse de :

- Solution étalon
- Matériau de référence certifié
- Solution LDM dont la concentration de l'analyte d'intérêt se situe entre 5 et 10 fois la limite de détection méthodologique calculée
- Duplicata
- Blanc de méthode
- Échantillon inconnu

Une compilation statistique de ces différents éléments permettra d'évaluer la qualité des résultats obtenus. La séquence d'analyse suggérée pour les travaux analytiques est décrite au schéma 2.1.

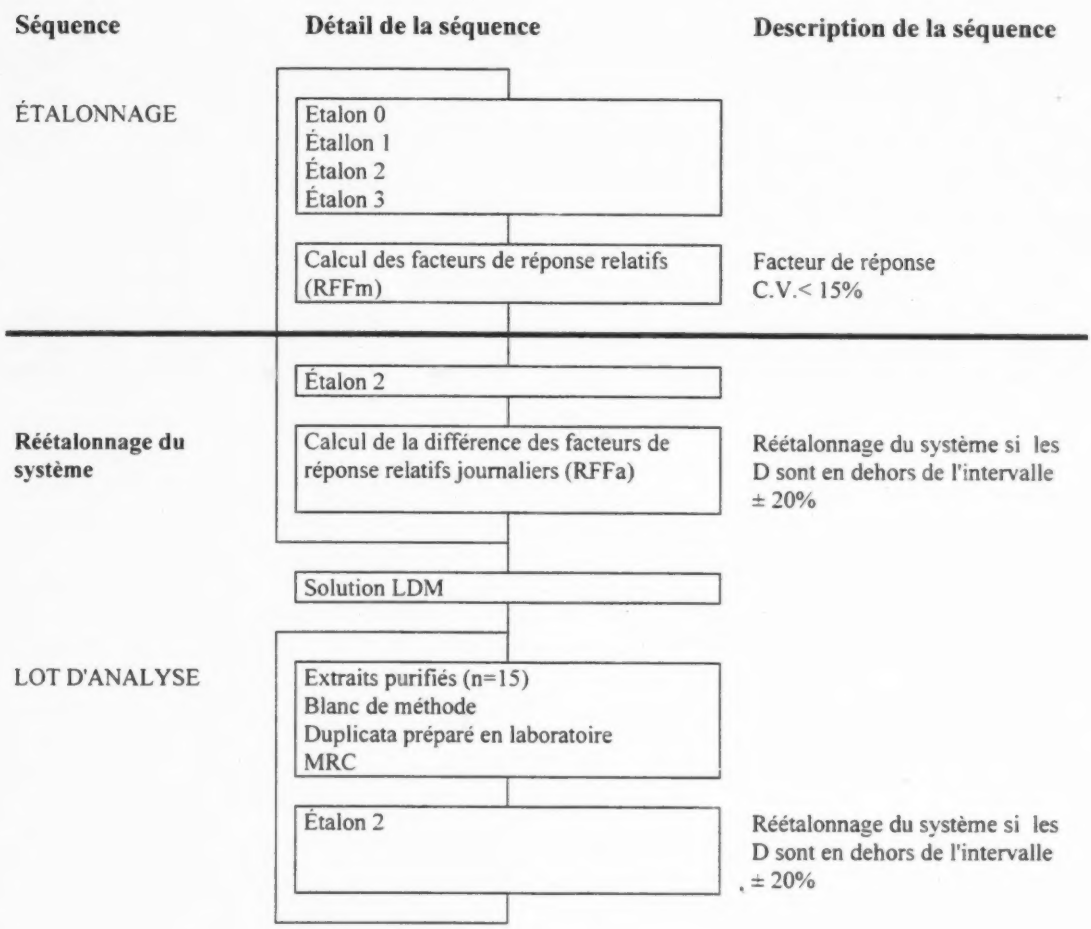


Figure 2.1 Séquence d'analyse pour les analyses de HAP et BPC congénères

2.2 Critères de performance

Tous les résultats d'analyses des différentes substances organiques soumis par l'entrepreneur doivent rencontrer les critères de performance analytiques présentés aux tableaux 2.1 et 2.2. Les critères retenus font notamment référence aux paramètres de contrôle suivants : les limites de détection des méthodes (LDM) utilisées, le contrôle de l'étalonnage, le contrôle de la contamination, l'exactitude et la précision.

Tableau 2.1
Limites de détection méthodologiques maximales permises

Paramètre	Composé	LDM [1]
HAP	Naphtalène	0.01 mg/kg
	Acénaphtène	
	Acénaphtylène	
	Fluorène	
	Phénanthrène	
	Anthrancène	
	Fluoranthène	
	Pyrène	
	Benzo(*a*)anthracène	
	Chrysène	
	Benzo(*b*+*j*+*k*)fluoranthènes	
	Benzo(*a*)pyrène	
	Indéno(1,2,3-*cd*)pyrène	
	Dibenzo(*a*,*h*)anthracène	
	Benzo(*ghi*)périylène	
	1-Méthylnaphtalène	
	2-Méthylnaphtalène	
	Benzo(*e*)pyrène	
BPC congénères	*Groupes homologues :*	0.01 mg/kg
	Trichlorobiphényles	
	Tétrachlorobiphényles	
	Pentachlorobiphényles	
	Hexachlorobiphényles	
	Heptachlorobiphényles	
	Octachlorobiphényles	
	Nonachlorobiphényles	
	Décachlorobiphényle	

1 Limite de détection méthodologique exigée pour chacun des composés ou pour chacun des groupes homologues

Tableau 2.2
Critères de performance exigés pour l'analyse des substances chimiques organiques concernant le contrôle d'étalonnage, le contrôle de la contrôle de la contamination, l'exactitude et la précision.

Paramètre de contrôle	Échantillons de contrôle	Critère	
Contrôle de l'étalonnage			
Coefficient de variations des facteurs de réponse relatifs	Solutions d'étalonnage	C.V. ≤ 15 %	
Différence des facteurs de réponse	Solutions d'étalonnage	D ± 20 %	
Contrôle de la contamination			
Concentration mesurée	Blanc de méthode	≤ 3 LDM	
Exactitude			
Écart	MRC	± 30 %	
Récupération	Échantillon enrichi*	50 - 120 %	
	Composés analogues ou composés marqués par des isotopes	50 - 120 %	
Précision			
Coefficient de variation	MR (ou MRC)	C.V. ≤ 30 %	
	Composés analogues ou composés marqués par des isotopes		
Différence relative ($D_{dupl.}$)	Duplicata	si $X_{dupl.} \leq 3$ LDM	± 100 %
		si 3 LDM < $X_{dupl} \leq 20$ LDM	± 40 %
		si $X_{dupl.} > 20$ LDM	± 20 %

*Concentration de l'ajout > 10 LDM.
X_{dupl} : concentration moyenne des duplicatas

Annexe 15 Variables physico-chimiques mesurées *in situ* (échantillonnage principal)

Station	Profondeur (m)	# coups benne	Végétation (présence/absence)	Température (°C)	Conductivité* (µS/cm)	pH
A1	1,5	4	p	14,6	176	7,19
A2	0,9	4	p	17,1	498	7,65
A3	0,9	4	p	17,5	472	7,53
A4 / A5 / A6	1,2	3 / 3 / 3	p	19,3	415	7,73
A7 - A10 - A11	1,2	10	p	19,4	344	7,82
A8	0,6	3	p	17,4	474	7,82
A9	0,6	3	p	15,1	456	7,45
B1	1,5	3	p	15,0	247	7,11
B2	1,8	3	p	15,2	252	7,21
C1	1,2	3	p	15,7	261	7,14
C2	1,2	3	a	16,4	252	7,32
C3	1,2	3	p	16,8	203	7,96
C4	1,2	3	p	16,8	205	8,08
C5	1,5	3	p	16,9	257	7,88
D1	1,2	3	p	16,9	169	7,17
D2	0,9	3	a	17,1	166	7,08
D3	1,5	3	p	17,4	172	7,05
D4	0,9	3	p	15,8	175	7,10
E1	1,5	3	p	14,6	207	7,56
E2	1,5	3	p	14,1	198	7,40
E3	1,5	3	p	16,7	217	8,36
E4	1,5	3	p	16,5	222	7,99
E5	1,5	3	p	18,1	223	8,28
E6	1,8	3	p	17,9	268	8,63
E7	1,8	3	p	17,0	224	8,07
F1	1,5	3	p	16,7	200	7,39
F2	1,5	3	p	16,3	204	7,38
F3	1,2	3	a	16,9	181	7,40
F4	0,6	3	p	17,3	222	8,24
G1	1,2	3	a	15,9	191	7,35
G2	1,2	3	a	16,2	170	7,28
G3	1,5	3	a	16,8	166	7,32
G4	1,2	3	p	17,3	165	7,32
G5	0,6	4	p	15,1	229	7,67
G6	0,6	3	p	15,3	227	7,76
G7	0,6	3	p	16,2	213	7,82
G8	0,6	3	p	17,3	191	7,70
H1	1,5	3	p	12,7	229	7,41
H2	1,5	3	p	13,5	201	7,27

Station	Profondeur (m)	# coups benne	Végétation (présence/absence)	Température (°C)	Conductivité* (µS/cm)	pH
H3	0,9	3	p	13,6	213	7,38
H4	0,9	4	p	14,6	202	7,55
H5	1,2	3	p	14,8	201	7,53
H6 - H8 - H9	0,9	7	p	16,1	175	7,05
H7	0,9	3	p	17,4	220	7,61
Y1	1,5	3	p	14,8	181	7,63
Y2	1,2	3	p	15,1	174	7,50
Y3	1,8	3	a	17,1	270	7,30
Y4	1,4	3	p	16,5	193	7,20
Y5 / Y6 / Y7	2,0	3 / 3 / 3	p	15,7	242	7,54
Y8	1,8	3	p	15,8	241	7,61
Y9	1,4	3	p	17,7	174	7,33
Y10	1,2	3	a	17,0	197	7,84
Y11	0,6	3	p	15,0	195	7,24
Y12	3,0	3	a	14,5	301	7,77
Y13	1,8	3	a	14,5	298	7,72
Y14	2,4	3	p	14,7	299	7,75
Y15	1,8	3	p	17,1	259	7,97
Y16	1,8	3	p	13,2	289	8,00
Y17	1,5	3	p	16,6	249	7,95
Z1	1,2	3	a	17,6	171	7,03
Z2	1,5	3	a	17,5	171	7,07
Z3 / Z4 / Z5	4,0	3 / 3 / 3	a	15,0	307	7,60
Z6	3,7	3	p	14,9	305	7,67
Z7	2,1	3	p	15,0	324	7,76
Z8	2,1	3	p	15,1	323	7,72
Z9	2,1	3	p	15,4	321	7,66
Z10	2,1	3	p	15,2	303	7,69
Z11	2,7	3	p	15,2	295	7,59
Z12	3,0	3	a	14,8	324	7,84
Z13	3,4	3	a	14,8	323	7,79
Z14	2,4	3	a	15,9	278	7,62
Z15	1,5	3	p	15,6	272	7,44
Z16	1,5	3	p	15,7	270	7,37
Z17	2,0	3	p	15,1	289	7,63

*Conductivité corrigée à 25°C.

Annexe 16 Analyse des données de contamination des sédiments du secteur sud du lac Saint-Pierre récoltés au printemps 2000.

Par : Pierre Gagnon, Biologie de l'environnement, Centre Saint-Laurent, DCE
Pour : Alain Latreille et Brigitte Cusson, Technologie et intervention, DPE

Données

Les données proviennent de trois secteurs. Le secteur de comparaison était situé tout autour du champ de tir et représente le milieu ambiant avec lequel les autres secteurs devraient être comparés. Le secteur des points chauds représente les huit zones, identifiées par les lettres A à H, les plus touchées par les tirs selon un relevé géomagnétique. Ce secteur a fait l'objet d'un échantillonnage stratifié selon les zones, le poids des strates étant proportionnel à la quantité de métal détecté par le relevé géomagnétique. Le secteur intermédiaire comprend l'espace du champ de tir situé entre les points chauds. Un échantillon en triplicata a été récolté et analysé dans chaque secteur.

Substances inorganiques

Les substances inorganiques dosées dans les sédiments sont: l'aluminium, l'arsenic, le béryllium, le cadmium, le cobalt, le chrome, le cuivre, le fer, le mercure, le lithium, le magnésium, le manganèse, le nickel, le plomb, le sélénium, le tungstène et le zinc. Le béryllium et le tungstène n'ont pas été détectés assez souvent pour être statistiquement analysables. Les autres teneurs non détectées ont été remplacées par la moitié de la limite de détection pour les fins de l'analyse.
L'examen des données n'a pas révélé de valeur aberrante, tout au plus les teneurs de certaines substances (Al, Cd, Cr, Hg, Mg, Mn, Pb, Zn) n'étaient pas distribuées normalement, ce que nous avons amélioré en passant à l'échelle logarithmique (base 10) pour toutes les substances.

Différence de contamination entre les secteurs

Le tableau 1 montre les différences significatives ($p<0.05$; ANOVA comparant les différences entre les secteurs avec la variabilité inter-station) entre les secteurs. On note que dans tous les cas significatifs, les points chauds sont plus contaminés que le secteur intermédiaire, lui-même plus contaminé que le secteur de comparaison.

	Points chauds		Intermédiaire		Comparaison
Al	9120		>		4677
As	2.95	>	2.00	≈	1.78
Li	7.24	≈	3.55	>	0.93
Mn	288		>		178

Tableau 1 : Différences significatives ($P < 0.05$) entre les secteurs. Les valeurs sont en ppm.

Différence de contamination entre les points chauds

Les seules substances présentes de façon uniforme dans les points chauds sont l'arsenic et le zinc. Pour les autres, il existe des différences significatives ($p<0.05$; ANOVA comparant les différences entre les points chauds avec la variabilité inter-station) dans les teneurs mesurées avec de façon générale, une contamination plus grande dans la strate A et plus faible dans les strates E, G, et H (Tableau 2). La comparaison des points chauds avec le secteur de comparaison (même tests statistiques) confirme que la strate A est plus contaminée que le milieu ambiant et révèle aussi que le lithium se retrouve en plus grande concentration dans les points d'impacts que dans le secteur de comparaison.

Lig > Col	A	B	C	D	E	F	G	H	Comparaison
A			Cd		Al, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Ni, Pb	Co, Pb	Al, Co, Cr, Li, Mg, Mn, Ni, Pb	Al, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mg, Mn, Ni, Pb	Al, As, Co, Cr, Fe, Li, Mg, Mn, Ni
B							Pb	Cd	Li
C					Hg		Pb	Cd	Al, As, Li
D									Li
E		Se						Cd	Li, Se
F								Cd	Li
G								Cd	Li
H									Li
Comparaison									

Tableau 2 : Comparaisons une à une entre les points chauds et avec le secteur de comparaison. Les cellules énumèrent les métaux qui sont significativement plus abondants dans la ligne que dans la colonne.

Dépassement des seuils

Les seuils d'effets néfastes ne sont dépassés nulle part alors que les seuils d'effets mineurs ne sont dépassés que dans la strate A pour le chrome, le cuivre et le nickel (tests t de Student).

Variabilité de la contamination

La puissance des comparaisons présentées plus haut dépend de la variabilité de la contamination des échantillons. Le tableau 3 montre la variance des contaminants dans les secteurs et les points chauds. On note que celle-ci est beaucoup plus variable dans le secteur de comparaison pour l'arsenic, le cadmium, le cobalt, le cuivre, le mercure, le plomb et le zinc. Le lithium, par contre, est plus variable dans le secteur. Les points chauds entre eux ne sont pas plus variables que les échantillons qui en proviennent.

	Comparaison	Intermédiaire	Points chauds	
			inter	intra
Al	0.07	0.10	0.08	0.04
As	0.07	0.02	0.001	0.01
Cd	0.13	0.03	0.02	0.02
Co	0.23	0.06	0.06	0.05
Cr	0.14	0.08	0.09	0.06
Cu	0.27	0.09	0.11	0.16
Fe	0.08	0.03	0.04	0.04
Hg	0.19	0.10	0.01	0.01
Li	0.23	0.36	0.09	0.09
Mg	0.13	0.13	0.08	0.09
Mn	0.05	0.06	0.03	0.03
Ni	0.09	0.05	0.03	0.02
Pb	0.27	0.02	0.13	0.06
Se	0.09	0.08	0.02	0.04
Zn	0.10	0.03	0.01	0.03

Tableau 3 : Variance des contaminants (échelle $\log_{10}$) dans les secteurs. Pour les points chauds, la variance est divisée en deux composantes: entre les points chauds (inter) et à l'intérieur des points chauds (intra) estimées selon la méthode MINVQUE0 de SAS.

Données granulométriques

Les sédiments récoltés ne sont pas homogènes (tableau 4). Le point chaud A se distingue par des sédiments plus fins et plus organiques alors que les points chauds E, F et H qui sont plus sablonneux et moins organiques.

Strate	Surface des particules[1] $cm^2 g^{-1}$	Carbone organique %	Sable %	Argiles %	Limon %
A	14024	0.74	30.71	50.11	19.17
B	9957	0.34	73.5	9.4	17.05
C	9887	0.5	63.12	17.3	19.56
D	10838	0.33	62.8	17.23	19.93
E	8665	0.13	88.13	5.56	6.24
F	8275	0.13	91.2	4.9	3.85
G	9365	0.16	78.51	3.83	17.68
H	9805	0.15	80.90	12.0	7.05
Intermédiaire	10463	0.26	71.07	12.8	16.11
Comparaison	9678	0.33	72.07	8.36	19.59

[1] Voir Annexe

Tableau 4 : Caractéristiques des sédiments dans les points chauds (A-H), la zone intermédiaire et la zone de comparaison.

Contaminants organiques

Le dosage des contaminants dans les sédiments du champ de tir a porté sur les BPC et sur les HAP. Les taux de détection sont très bas (Tableau 5). De plus, la répartition des valeur détectées ne montre pas de relation entre l'exposition aux tirs et la contamination organique (Tableau 6).

Contaminant	Détection (%)
BPC	
Trichlorobyphényles	1.2
Tétrachlorobiphényles	4.8
Pentachlorobiphényles	4.8
Hexachlorobiphényles	4.8
Heptachlorobiphényles	0.0
Octachlorobiphényles	0.0
Nonachlorobiphényles	0.0
Décachlorobiphényle	0.0
BPC (au moins un)	4.8
HAP	
Naphtalène	2.4
2-méthylnaphtalène	1.2
1-méthylnaphtalène	0.0
Acénaphtylène	0.0
Acénaphtène	0.0
Fluorène	3.6
Phénanthrène	23.8
Anthracène	6.0
Fluoranthène	34.5
Pyrène	34.5
Benzo(a)anthracène	17.9
Chrysène	22.6
Benzo(b,j,k)fluoranthène	27.4
Benzo(e)pyrène	14.3
Benzo(a)pyrène	16.7
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	9.5
Dibenzo(a,h)anthracène	0.0
Benzo(g,h,i)pérylène	9.5
HAP (au moins un)	38.1

Tableau 5 : Taux de détection des BPC et HAP dans l'ensemble des échantillons de l'étude.

Secteurs	Détection des BPC	Détection des HAP
A	0/11	6/11
B	0/2	2/2
C	0/5	3/5
D	0/4	2/4
E	0/7	1/7
F	0/4	0/4
G	0/8	1/8
H	0/9	0/9
Intermédiaire	0/17	8/17
Comparaison	4/17	9/17

Tableau 6 : Nombre d'échantillons avec détection des contaminants organiques selon les points chauds et les secteurs.

Annexe : La surface des particules

Des travaux (Schmid, 2000) montrent que la surface des particules sédimentaires par unité de poids varie avec le rayon des particules comme $R^{-0.33}$. La surface totale des particules d'un échantillon peut donc être estimée par :

$$S = \left(1 - P_{H_2O}\right) \sum_i P_{S_i} a R_i^{-0.33}$$

où P_{H_2O} est la proportion d'eau et P_{S_i} est la proportion de sédiments de taille i. La constante a vaut environ 4600 (Schmid, 2000) lorsque R est le rayon des particules exprimé en mm et S la surface en $cm^2\ g^{-1}$.

Référence

Schmid, P. E. (2000) Fractal properties of habitat and patch structure in benthic ecosystems. Advances in Ecological Research 30 : 339-401.

Annexe 17

Rapport d'évaluation de la qualité de la caractérisation chimique des sédiments prélevés dans la portion sud du lac Saint-Pierre

Sylvie Roberge
Chimie de l'environnement

Centre Saint-Laurent
Conservation de l'environnement
Environnement Canada - Région du Québec

Préparé pour :

Environnement Canada
Direction de la protection de l'environnement

1 Introduction

Cette étude de caractérisation a été entreprise à la demande de la Direction de la protection de l'environnement (DPE). Elle s'inscrit dans le cadre d'une entente de collaboration entre Environnement Canada et la Défense Nationale afin d'évaluer la contamination des sédiments en provenance de la portion sud du Lac Saint-Pierre qui ont été prélevés entre le 29 mai et le 16 juin 2000.

Le présent rapport concerne l'évaluation de la qualité des résultats des paramètres inorganiques et des substances chimiques organiques dont les analyses ont été réalisées par Envirolab, Division de Roche ltée Groupe-conseil.

2 VOLET INORGANIQUE

2.1 Analyse demandées

Les analyses inorganiques demandées pour le projet sont regroupées au tableau 1.

Tableau 1
Liste des paramètres inorganiques demandés

Paramètre	Paramètre
Aluminium extractible total	Manganèse extractible total
Arsenic extractible total	Mercure total
Béryllium extractible total	Nickel extractible total
Cadmium extractible total	Plomb extractible total
Chrome extractible total	Sélénium extractible total
Cobalt extractible total	Tungstène extractible total
Cuivre extractible total	Zinc extractible total
Fer extractible total	Carbone organique total
Lithium extractible total	Humidité (%)
Magnésium extractible total	Granulométrie - sédimentométrie

2.2 Exigences de la qualité pour les paramètres inorganiques

Envirolab (incluant les deux laboratoires sous-contractants) a respecté toutes les exigences de qualité demandées au devis analytique. Ces exigences stipulent des critères pour l'étalonnage, la contamination, l'exactitude et la précision qui doivent être atteints lors du dosage des différents paramètres. Les critères rencontrés sont énumérés au tableau 2.

Tableau 2
Critères de performance exigés pour les analyses concernant le contrôle de l'étalonnage, le contrôle de la contamination, l'exactitude et la précision

Paramètre de contrôle	Échantillons de contrôle	Critères	
Contrôle de l'étalonnage			
Coefficient de corrélation	Solutions d'étalonnage	$r = \geq 0.995$	
Contrôle de la contamination			
Concentration mesurée	Blanc de méthode	≤ LDM	
Exactitude			
Écart	MRC	± 20 %	
Récupération	Échantillon enrichi	80 % - 120 %	
Précision			
Différence relative ($D_{dupl.}$)	Duplicata	si $X_{dupl.} \leq 3$ LDM	± 100 %
		si 3 LDM < $X_{dupl.} \leq 20$ LDM	± 40 %
		si $X_{dupl.} > 20$ LDM	± 20 %

$X_{dupl.}$ Valeur moyenne des duplicatas

La précision calculée pour les paramètres inorganiques à partir des triplicatas fantômes préparés chez le consultant responsable de l'homogénéisation des sédiments, Labexcel, sont regroupés aux tableaux 3 à 6. Pour les paramètres inorganiques, on rencontre seulement une exigence non-respectée lors de l'analyse du magnésium (voir le tableau 4). Le coefficient de variation obtenu (21.1 %) diffère peu du critère exigé (≤ 20 %) et les résultats sont considérés très satisfaisants.

Tableau 3
Précision des triplicatas A7, A10 et A11

Paramètre	Identification A7 (mg/kg)	A10 (mg/kg)	A11 (mg/kg)	Moyenne (mg/kg)	C.V. obtenu (%)	C.V. exigé (%)	Respect
Aluminium	27000	28000	27000	27333	2.1	20	oui
Arsenic	3.6	3.5	3.3	3.5	4.4	20	oui
Béryllium	0.8	0.8	0.8	0.8	0	100	oui
Cadmium	0.09	0.09	0.09	0.09	0	100	oui
COT (%)	0.54	0.58	0.50	0.54	7.4	20	oui
Chrome	110	120	110	113	5.1	20	oui
Cobalt	24	24	25	24	2.4	40	oui
Cuivre	45	44	45	45	1.3	20	oui
Humidité (%)	20	39	38	32	33.1	n.a.	n.a.
Fer	47000	45000	46000	46000	2.2	20	oui
Lithium	22	23	23	23	2.5	40	oui
Magnésium	17000	17000	17000	17000	0	20	oui
Manganèse	590	530	530	550	6.3	20	oui
Mercure	0.07	0.06	0.04	0.06	27	40	oui
Nickel	65	65	66	65	0.9	20	oui
Plomb	10	10	6	9	26.6	40	oui
Sélénium	0.1	0.1	0.1	0.1	0	100	oui
Tungstène	1	1	1	1	0	100	oui
Zinc	93	95	95	94	1.2	20	oui

Tableau 4
Précision des triplicatas H6, H8 et H9

Paramètre	Identification H6 (mg/kg)	H8 (mg/kg)	H9 (mg/kg)	Moyenne (mg/kg)	C.V. obtenu (%)	C.V. exigé (%)	Respect
Aluminium	3200	2500	3300	3000	14.5	20	oui
Arsenic	2.5	3	2.9	2.8	9.4	20	oui
Béryllium	0.8	0.8	0.8	0.8	0	100	oui
Cadmium	0.07	0.07	0.07	0.07	0	100	oui
COT (%)	0.14	0.15	0.14	0.14	4.0	20	oui
Chrome	10	10	11	10	5.6	40	oui
Cobalt	3	4	4	4	15.7	100	oui
Cuivre	1	2	2	2	34.6	100	oui
Humidité (%)	20	20	20	20	0	n.a.	n.a.
Fer	6400	6300	6300	6333	0.9	20	oui
Lithium	1	1	1	1	0	100	oui
Magnésium	**1200**	**1700**	**1200**	**1367**	**21.1**	**20**	**non**
Manganèse	110	110	100	107	5.4	20	oui
Mercure	0.03	0.03	0.03	0.03	0	100	oui
Nickel	15	15	16	15	3.8	40	oui
Plomb	2	2	2	2	0	100	oui
Sélénium	0.1	0.1	0.1	0.1	0	100	oui
Tungstène	1	1	1	1	0	100	oui
Zinc	27	27	28	27	2.1	20	oui

Pour l'analyse de la granulométrie-sédimentologie, il n'y a pas de LDM exigée pour les différentes classes granulométriques. Un C.V. de moyen de 40 % est considéré comme acceptable pour cette analyse impliquant des mesures gravimétriques et de densimétrie. Les résultats pour les échantillons fantômes sont regroupés aux tableaux 5 et 6. Au tableau 5, les C.V. obtenus pour le sable moyen et le sable fin sont peu différents du critère exigé et le résultats sont très satisfaisants. Pour le gravier, le C.V. de 81.6 % diffère beaucoup du critère moyen acceptable, mais il faut considérer qu'une faible variation de poids obtenue pour la fraction du gravier (> 2 mm) change d'une façon importante le pourcentage de la fraction, et augmente considérablement l'imprécision de l'analyse. Pratiquement, les analyses répétées (duplicata, triplicatas...) devraient toujours se faire sur la fraction analysée par densimétrie. Pour l'analyse des échantillons H6, H8 et H9, le C.V. obtenu (42.3 %) pour la fraction de l'argile diffère peu du critère moyen exigé et les résultats sont considérés très satisfaisants (voir tableau 6).

Tableau 5
Précision pour la granulométrie des échantillons A7, A10 et A11

Paramètre	Identification				C.V. obtenu (%)	C.V. moyen exigé (%)	Respect
	A7 (%)	A10-1 (%)	A10-2 (%)	A11 (%)			
Gravier	**0.6**	**0.1**	**0.1**	**0.4**	**81.6**	**40**	**non**
Sable très grossier	1.4	0.8	0.9	1.4	28.5	40	oui
Sable grossier	2.4	1.3	1.2	2.4	36.4	40	oui
Sable moyen	**8.4**	**3.9**	**3.8**	**8.5**	**43.2**	**40**	**non**
Sable fin	**9.1**	**4.1**	**4.0**	**9.2**	**44.6**	**40**	**non**
Sable très fin	5.0	4.6	8.0	6.3	25.7	40	oui
Limon	18.0	25.3	25.2	15.0	24.9	40	oui
Argile	54.3	59.9	56.9	56.9	4.0	40	oui

Note : L'échantillon A10 a été analysé en duplicata chez le consultant.

Tableau 6
Précision pour la granulométrie des échantillons H6, H8 et H9

Paramètre	Identification				C.V. obtenu (%)	C.V. moyen exigé (%)	Respect
	H6 (%)	H8 (%)	H9-1	H9-2 (%)			
Gravier	0.1	0.1	0.1	0.2	40	40	oui
Sable très grossier	2.2	1.9	2.2	1.9	8.4	40	oui
Sable grossier	4.1	3.7	4.1	3.7	5.9	40	oui
sable moyen	37.8	39.1	40	38.7	2.3	40	oui
Sable fin	43.2	43.8	43.7	44.3	1.0	40	oui
Sable très fin	7.7	7.5	6.8	7.6	5.5	40	oui
Limon	2.3	1.8	2.3	1.9	12.7	40	oui
Argile	**2.6**	**2**	**0.8**	**1.7**	**42.3**	**40**	**non**

Note : L'échantillon H9 a été analysé en duplicata chez le consultant.

Lors des travaux analytiques, le laboratoire a respecté et(ou) amélioré les limites de détection (LDM) exigées au devis. Le tableau 7 regroupe les LDM obtenues par le consultant.

Tableau 7
Limites de détection méthodologiques des paramètres inorganiques

Paramètre	LDM maximale permise (mg/kg)	LDM obtenue (mg/kg)
Aluminium total extractible	20	15
Arsenic total extractible	0.1	0.1
Béryllium total extractible	0.8	0.8
Cadmium total extractible	0.1	0.03
Chrome total extractible	4	2
Cobalt total extractible	10	2
Cuivre total extractible	5	1
Fer total extractible	10	5
Lithium total extractible	10	2
Magnésium total extractible	10	5
Manganèse total extractible	50	1
Mercure total	0.02	0.01
Nickel total extractible	4	1
Plomb total extractible	4	2
Sélénium total extractible	0.2	0.1
Tungstène total	10	1
Zinc total extractible	10	1
Carbone organique total	0.2 %	0.01 %
Humidité (%)	n.a.	n.a.
Granulométrie - sédimentologie	n.a.	n.a.

n.a. : ne s'applique pas

3 Volet organique

3.1 Analyses demandées

Les analyses demandées pour le projet sont regroupées au tableau 8.

Tableau 8
Substances chimiques organiques demandées

Paramètre
HAP (résultats individuels et sommation)
BPC congénères (résultats par groupes homologues et sommation)

3.2 Exigences de la qualité pour les substances chimiques organiques

Lors du dosage des BPC congénères et des HAP, Envirolab a rencontré toutes les exigences stipulées au devis de caractérisation. Le tableau 9 regroupe les critères de performance analytique pour l'étalonnage, la contamination, l'exactitude et la précision qui ont été atteints.

Tableau 9
Critères de performance exigés concernant le contrôle d'étalonnage, le contrôle de la contrôle de la contamination, l'exactitude et la précision.

Paramètre de contrôle	Échantillons de contrôle	Critère
Contrôle de l'étalonnage		
Coefficient de variations des facteurs de réponse relatifs	Solutions d'étalonnage	C.V. ≤ 15 %
Différence des facteurs de réponse	Solutions d'étalonnage	D ± 20 %
Contrôle de la contamination		
Concentration mesurée	Blanc de méthode	≤ 3 LDM
Exactitude		
Écart	MRC	± 30 %
Récupération	Échantillon enrichi	50 - 120 %
	Composés analogues ou composés marqués par des isotopes	50 - 120 %
Précision		
Coefficient de variation	MR (ou MRC)	C.V. ≤ 30 %
	Composés analogues ou composés marqués par des isotopes	C.V. ≤ 30 %
Différence relative (D_{dupl})	Duplicata :	
	si $X_{dupl} \leq 3$ LDM	± 100 %
	si 3 LDM < $X_{dupl} \leq 20$ LDM	± 40 %
	si $X_{dupl} > 20$ LDM	± 20 %

X_{dupl} : concentration moyenne des duplicatas

La précision calculée pour les échantillons fantômes pour les BPC congénères et les HAP sont regroupés aux tableaux 10 à 13. Les C.V. obtenus sont excellents et rencontrent les critères exigés au devis.

Tableau 10
Précision des triplicatas A7, A10 et A11 pour les BPC congénères

Paramètre	Identification			Moyenne (mg/kg)	C.V. obtenu (%)	C.V. exigé (%)	Respect
	A7 (mg/kg)	A10 (mg/kg)	A11 (mg/kg)				
Trichlorobiphényles	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Tétrachlorobiphényles	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Pentachlorobiphényles	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Hexachlorobiphényles	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Heptachlorobiphényles	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Octachlorobiphényles	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Nonachlorobiphényles	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Décachlorobiphényle	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui

Note : Résultats tous inférieurs à la LDM

Tableau 11
Précision des triplicatas H6, H8 et H9 pour les BPC congénères

Paramètre	Identification			Moyenne (mg/kg)	C.V. obtenu (%)	C.V. exigé (%)	Respect
	H6 (mg/kg)	H8 (mg/kg)	H9 (mg/kg)				
Trichlorobiphényles	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Tétrachlorobiphényles	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Pentachlorobiphényles	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Hexachlorobiphényles	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Heptachlorobiphényles	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Octachlorobiphényles	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Nonachlorobiphényles	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Décachlorobiphényle	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui

Note : Résultats tous inférieurs à la LDM

Tableau 12
Précision des triplicatas A7, A10 et A11 pour les HAP

Paramètre	Identification			Moyenne (mg/kg)	C.V. obtenu (%)	C.V. exigé (%)	Respect
	A7 (mg/kg)	A10 (mg/kg)	A11 (mg/kg)				
Naphtalène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
2-Méthylnaphtalène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
1-Méthylnaphtalène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Acénaphtylène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Acénaphtène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Fluorène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Phénanthrène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Anthracène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Fluoranthène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Pyrène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Benzo(*a*)anthracène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Chrysène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Benzo(*b+j+k*)fluoranthènes	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Benzo(*e*)pyrène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Benzo(*a*)pyrène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Indéno(1,2,3-*cd*)pyrène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Dibenzo(*a,h*)anthracène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Benzo(*ghi*)pérylène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui

Note : Résultats tous inférieurs à la LDM

Tableau 13
Précision des triplicatas H6, H8 et H9 pour les HAP

Paramètre	Identification H6 (mg/kg)	H8 (mg/kg)	H9 (mg/kg)	Moyenne (mg/kg)	C.V. obtenu (%)	C.V. exigé (%)	Respect
Naphtalène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
2-Méthylnaphtalène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
1-Méthylnaphtalène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Acénaphtylène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Acénaphtène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Fluorène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Phénanthrène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Anthrancène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Fluoranthène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Pyrène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Benzo(*a*)anthracène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Chrysène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Benzo(*b+j+k*)fluoranthènes	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Benzo(*e*)pyrène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Benzo(*a*)pyrène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Indéno(1,2,3-*cd*)pyrèn	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Dibenzo(*a,h*)anthracène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui
Benzo(*ghi*)pérylène	0.01	0.01	0.01	0.01	0	100	oui

Note : Résultats tous inférieurs à la LDM

Lors des travaux analytiques, Envirolab a respecté dans la très grande majorité des cas les LDM exigées au devis 0.01 mg/kg pour les groupes homologues des BPC ou chacun des HAP. Pour les BPC congénères, la LDM exigée n'a pas été rencontrée lorsque le pourcentage d'humidité du sédiment est très important (~50 %). Le laboratoire obtient une LDM de 0.02 mg/kg, ce qui diffère peu du critère exigé et les résultats sont adéquats.

En ce qui concerne les HAP, la LDM exigée n'a pas été rencontrée lorsque que le sédiment contient des huiles et graisses. Ces contaminants diminuent la sensibilité de l'appareil et le laboratoire doit diluer l'extrait pour obtenir un chromatogramme sans bruit de fond. Cela implique une augmentation de la LDM lors de l'analyse des échantillons réels. L'écart entre la LDM exigée (0.01 mg/kg) et celle rapportée par le consultant (0.02 mg/kg) diffère peu du critère exigé au devis et les résultats sont considérés satisfaisants.

4 Conclusion

Un total de 84 échantillons ont été analysés par Envirolab lors de la caractérisation physico-chimique des sédiments de la portion sud du Lac Saint-Pierre. Envirolab a sous-contractés trois paramètres soit la granulométrie chez Technisol, le carbone organique total et le tungstène total chez COREM. Les résultats obtenus par Envirolab et ses deux sous-traitants rencontrent tous les objectifs de la qualité fixés au début du projet tant pour les paramètres inorganiques que pour les substances chimiques organiques.

Les critères non rencontrés sont les LDM rapportées pour quelques échantillons analysés pour les BPC congénères et les HAP. Ces dernières s'écartent peu de celles exigées (0.02 mg/kg versus 0.01 mg/kg) et ne devrait pas entraîner de conséquences dans l'interprétation des résultats.

La précision évaluée à partir des échantillons fantômes, préparés chez Labexcel, est excellente pour toutes les analyses demandées. Seul la précision calculée pour la fraction du gravier du triplicatas A7, A10 et A11 ne rencontre pas le critère moyen établi. Ceci peut s'expliquer par l'hétérogénéité du sédiment ce qui a un impact analytique non-négligeable sur toutes les fractions grossière du matériel à caractériser. Donc on peut affirmer que les travaux d'homogénéisation ont été effectués d'une façon adéquate pour l'ensemble des paramètres.

Annexe 18 Coordonnées et variables physico-chimiques mesurées dans le cadre de la campagne d'échantillonnage complémentaire (automne 2000)

Station	Longitude UTM*	Latitude UTM*	Date	Heure	Profondeur (m)	Température (°C)	Végétation (échelle de 1 à 10)
AA1	680380	5120523	2000-10-16	13:00	0,45	8	9
AA2	680641	5120187	2000-10-18	09:30	0,28	8	10
AA3	680622	5120394	2000-10-18	10:50	0,45	8	10
AA4	680511	5120532	2000-10-18	13:45	0,36	9	10
AA5	680437	5120681	2000-10-19	14:05	0,38	10	8
ZZ1	663649	5110706	2000-10-17	09:45	0,42	8	7
ZZ2	663720	5110854	2000-10-17	11:00	0,42	9	7
ZZ3	665639	5111147	2000-10-17	13:15	0,40	9	5
ZZ4	665318	5110943	2000-10-17	14:30	0,36	9	8
ZZ5	663437	5110571	2000-10-19	09:30	0,40	9	8

*NAD 83 zone 18

Annexe 19 Instructions Permanentes d'Opération (campagne d'échantillonnage complémentaire, automne 2000)

Références: A. C-09-153-001/TS-000
B. C-74-300-B01/AG-000
C. Rapport Sommaire des Événements – Entente de Collaboration – Phase pré-échantillonnage daté 25 – 28 octobre 1999
D. B-GL-304-003/TS-0A1

Remarques

1. Ces IPO décrivent la marche à suivre, en accord avec les références A à D, en vue d'assurer le contrôle des opérations et indiquent les précautions à prendre lors des travaux qui auront lieu durant la campagne d'échantillonnage au lac Saint-Pierre.

2. La caractérisation des sédiments du champ de tir situé au lac Saint-Pierre a pour but d'évaluer l'impact des tirs de projectiles sur l'écosystème fluvial, de permettre la formulation de recommandations sur l'utilisation de cette portion du fleuve et de dégager des conclusions quant à la pertinence d'une éventuelle restauration.

But

3. Les travaux d'échantillonnage ont pour but de prélever des échantillons de sédiments à différentes stations afin de déterminer leur teneur en contaminants.

Programme d'échantillonnage

4. Horaire. La campagne principale d'échantillonnage – automne 2000 se déroulera du 16 au 20 octobre 2000.

5. Personnel. Le personnel impliqué dans la campagne d'échantillonnage et pouvant faire partie de l'équipe de travail est:

Nom	Organisation	Responsabilité
M. Alain Latreille	Environnement Canada (EC)	Coordonnateur scientifique
Mme Brigitte Cusson	EC	Chargée de projet
M. Vincent Jarry	EC	Administrateur de l'entente
Capt. Jean-Luc Rosso	Ministère de la Défense Nationale (MDN) – Centre d'essais et d'expérimentation en munitions (CEEM)	Officier de sécurité des explosifs et Coordonnateur de l'entente
M. Stéphane Jean	MDN – Centre de recherche pour la Défense Valcartier (CRDV)	Responsable de l'environnement
Mme Sonia Thiboutot	MDN – CRDV	Chercheur
M. Guy Ampleman	MDN – CRDV	Chercheur
M. Raymond Gagnon	MDN – CEEM	Gérant du site de Nicolet
Les Plongeurs	Employés par la compagnie NOTRA	

6. Composition des équipes de plongeurs. Deux équipes de plongeurs (#1 et #2) seront fournies par la compagnie NOTRA. Chaque équipe consistera d'un plongeur artificier (#1) et d'un plongeur de sécurité (#2). Une équipe de plongeurs sera située sur chaque embarcation. Un seul plongeur sera à l'eau à la fois, soit le plongeur artificier de l'équipe #1. Le plongeur de sécurité de l'équipe veillera à la sécurité du plongeur artificier de son équipe lorsque celui-ci sera à l'eau. Un superviseur/plongeur de NOTRA veillera à la sécurité des plongeurs des deux équipes.

7. Localisation des sites d'échantillonnage. Chaque matin, les stations planifiées pour la journée seront identifiées par la mise en place de bouées aux coordonnées pré-déterminées (DGPS). Les stations à échantillonner seront localisées à l'intérieur des secteurs dénommés «zones d'impacts» (où la concentration de projectiles serait élevée selon les données historiques et géophysiques) et «sites de comparaison».

8. EC est responsable de la sélection des sites.

9. Procédure d'échantillonnage. Une fois l'équipement préparé et mis à bord des embarcations, l'embarcation #1 (qui transporte l'équipe #1 des plongeurs) suivie de l'embarcation #2 (qui transporte l'équipe #2 des plongeurs ainsi que les scientifiques d'EC) se dirigera vers la première station à échantillonner. Une fois l'embarcation des plongeurs (équipe #1) sur place et immobilisée, les activités s'exécuteront comme suit:

a. l'embarcation #2 demeurera à 350 m (selon la référence D) de l'embarcation #1 jusqu'au moment où la station aura été sécurisée par les plongeurs de l'équipe #1;

b. le plongeur de l'équipe #1 choisira une station exempte de végétation et de profondeur représentative dans le secteur à échantillonner où les mesures suivantes seront enregistrées:

   (i) la profondeur de l'eau à cet endroit (plongeurs);

   (ii) la position de la station (à l'aide d'un système GPS); et

   (iii) les variables physico-chimiques de l'eau avec une multisonde à 0,5 m du fond (EC).

c. un échantillon de sédiments sera prélevé avec une benne manuelle par le plongeur artificier de l'équipe #1;

d. l'embarcation #2 pourra alors se rapprocher;

e. la benne sera déposée dans un bac afin de vérifier si elle était complètement fermée, remplie au ¾ (minimum), son contenu disposé à l'horizontale et non lessivé en surface.

f. Si l'échantillon est jugé acceptable par les représentants d'EC, les sédiments seront inspectés (procédure «FFE») par le plongeur artificier de l'équipe #2 et, s'ils sont jugés sécuritaires, ils seront transférés dans un sceau bien identifié et doublé de sacs;

g. la procédure de prélèvement sera répétée, s'il y a lieu, pour une récolte totale d'environ 2 kg de sédiments. Suite à la récolte des échantillons à cette station, l'embarcation #1 se dirigera vers la prochaine station à échantillonner;

h. le sac sera par la suite scellé, 2 «ice pack» seront ajoutés dans la chaudière et le couvercle fermé;

i. la benne et le bac seront alors lavés au savon et à la brosse et rincés entre chacune des stations;

j. lorsque les travaux à la station seront complétés, l'embarcation #2 se dirigera vers la prochaine station à échantillonner où les plongeurs de l'embarcation #1 auront déjà sécurisé le site; et

k. les procédures seront répétées de nouveau.

10. Il est important de noter que certains des échantillons seront pris le plus près possible de projectiles. À moins de pouvoir clairement déterminer que les projectiles sont inertes, les plongeurs ne devront pas les bouger.

11. Procédures de plongée. Les procédures de plongée seront définies par la compagnie NOTRA. Avant le début de toute opération les plongeurs auront la chance de se familiariser avec l'équipement ainsi que les procédures d'échantillonnage.

Programme de santé et sécurité

12. Briefings de sécurité. Étant donné l'historique du site, nous savons qu'il existe une certaine quantité de projectiles contenant des matériaux énergétiques au fond du lac: le prélèvement des échantillons de sédiments par des plongeurs artificiers est donc requis.

13. Avant le début des opérations, des instructions de sécurité seront données par l'Officier de sécurité des explosifs du CEEM. Avant que les équipes de travail ne débutent leurs opérations sur le lac, le contrôleur du champ de tir sera avisé des endroits à échantillonner afin de lui permettre de coordonner les activités sur le lac.

14. Avant tout travail sur le lac, le coordonnateur de l'entente/MDN sera responsable de s'assurer que les agences suivantes auront été informées des activités de l'équipe de travail:

Agence	Numéro de téléphone
Le contrôleur des champs de tir	(819) 293-2004 poste 2244
L'Hôpital du Christ-Roi Nicolet	(819) 293-2071
La station de pompiers de Nicolet	(819) 293-4545
Hélicoptère[4] L'Escadron tactique d'hélicoptères (ETAH) 430 : Officier de service Pagette: Hélimax Trois-Rivières MDN - Recherche et sauvetage (Trenton)	 (418) 844-5000 poste 5764 (418) 874-5781 (819) 377-3344 1-800-267-7270
Le Service du trafic maritime/Montréal	(450) 928-4543
Le Service du trafic maritime/Québec	(418) 648-7459
L'Hôpital Sacré-Coeur à Montréal – la chambre hyperbarre	(514) 338-2000 poste 2777

15. Mesures de sécurité. Avant le début des travaux, les plongeurs recevront une démonstration («dry run») de la procédure à suivre lors de la prise d'échantillons dans le lac. Lors de l'échantillonnage, les mesures de sécurité suivantes seront respectées en tout temps:

a. la profondeur des échantillons ne dépassera pas 15 cm;

b. le lieu précis de la prise d'échantillon à la benne sera déterminé par les plongeurs artificiers après inspection visuelle et sondage des sédiments à la tige. Aucun risque inacceptable ne sera pris par les membres de l'équipe des plongeurs artificiers;

c. si les plongeurs retrouvent un projectile dont l'état physique est douteux, aucun échantillonnage à la benne ne sera effectué et ils auront à contourner le projectile afin d'identifier un autre endroit pour la prise d'échantillon;

d. un représentant d'EC pourra assister les plongeurs artificiers lors des opérations d'échantillonnage. Toutefois, l'embarcation des scientifiques #2 devra demeurer à un minimum de 350 m de l'embarcation #1 jusqu'à ce que la station à échantillonner ait été déclarée sécuritaire par les plongeurs. L'embarcation des scientifiques pourra alors se rapprocher de la zone d'échantillonnage; et

e. la communication entre les embarcations et le contrôleur du champ de tir sera maintenue en tout temps. S'il y a une perte de communication entre ceux-ci, toute opération cessera jusqu'au moment où la communication sera rétablie.

16. Mesures d'urgence. En cas d'urgence, les membres de l'équipe du projet donneront les premiers soins aux victimes et aviseront le contrôleur de tir par radio ou cellulaire afin que celui-ci puisse communiquer avec les agences appropriées. Un rapport d'incident/d'accident sera fourni à DPMG et à EC moins de 48 heures après l'incident/l'accident. L'administrateur de l'entente/EC sera avisé le plus rapidement possible via téléphone ou téléavertisseur.

[4] Une piste d'atterrissage dédiée n'est pas disponible. Toutefois l'hélicoptère pourrait atterrir dans les environs de l'Hôpital Saint-Joseph, rue Sainte-Julie à Trois-Rivières.

Soutien logistique

17. Équipement. Le matériel suivant sera fourni par le MDN et EC et sera nécessaire afin de mener à bien la campagne principale d'échantillonnage:

a. une embarcation (Robert Pinard), qui sera fournie par la compagnie SNC TEC pour les plongeurs de l'équipe #1[5];

b. des radios de communication portatifs HT1000 seront fournis par le CEEM;

c. un système DGPS portatif avec une précision de ± 5 m sera fourni par la compagnie NOTRA;

d. EC fournira:

(i) une embarcation (Potamos);

(ii) deux petites bennes Ponar;

(iii) des bacs de réception pour les bennes et leur contenu;

(iv) une multisonde Hydrolab (pH, T, conductivité);

(v) des chaudières de 5 L, 10 L et 20 L en polyéthylène (doublées de sacs qualité alimentaire);

(vi) des «ice packs», étiquettes et crayons; et

(vii) des brosses et du savon pour le nettoyage des accessoires.

18. Équipes de plongée et embarcations. Le personnel sera réparti de la façon suivante à bord des embarcations :

Embarcation No 1 – Robert Pinard	**Embarcation No 2 – Potamos**
1 pilote de SNC TEC	1 pilote d'EC
1 représentant du MDN	Équipe de scientifiques
1 gérant de projet de NOTRA	1 plongeur artificier
1 plongeur superviseur	1 plongeur de sécurité
1 plongeur artificier	Visiteurs
1 plongeur de sécurité	

[5] Étant donné que le CEEM n'a pas de personnel pour piloter les embarcations, SNC TEC devra aussi fournir le personnel requis.

19. Communications. Durant les opérations sur le lac Saint-Pierre, les communications s'effectueront par radio :

a. la fréquence 2 (primaire) ou 3 (secondaire) sera utilisée entre les membres de l'équipe du projet et le contrôleur de tirs;

b. la fréquence 1 sera utilisée entre les deux embarcations; et

c. les communications entre les plongeurs seront tel que défini par la compagnie NOTRA.

20. Si les communications entre l'équipe de projet et le contrôleur des champs de tir sont interrompues, les opérations cesseront immédiatement et ce jusqu'au moment où les communications seront rétablies.

21. DGPS. Un système DGPS sera utilisé afin d'enregistrer la position exacte des stations échantillonnées.

22. Aménagement du calendrier de tir. Le gérant du site de Nicolet sera responsable de coordonner les travaux d'échantillonnage avec l'horaire de tirs de la compagnie SNC TEC. À cet effet, l'équipe se rencontrera chaque matin pour la planification des travaux à effectuer au courant de la journée et la remise à jour du calendrier de la semaine. En cas de conflits d'horaire, les travaux d'échantillonnage auront préséance afin de rencontrer les échéanciers fixés.

23. Transport. Le transport des membres du projet sera fourni par l'entremise de véhicules de location ainsi que des véhicules du MDN.

24. Hébergement. Chaque membre du projet sera responsable de son hébergement.

25. Nourriture. Les besoins en nourriture seront la responsabilité de chaque membre du projet.

26. Médias. Toute question provenant des journalistes sera dirigée vers le coordonnateur de l'entente (MDN) qui assurera la coordination avec les partenaires.

Annexe 20 Résultats des bioessais effectués au Environmental Science Centre (Environnement Canada) de Moncton

Results of Toxicological Testing of Sediment Samples from Environment Canada, Environmental Protection Branch in Quebec.

Prepared For:

Alain Latreille
Chargé de Projets
Environnement Canada
105 Rue McGill, 4e étage
Montréal, QC H2Y 2E7

Prepared By:

P. Jackman and K.G. Doe
Environment Canada, ECB
Environmental Science Centre
P.O. Box 23005
Moncton, N.B., E1A 6S8

December 11, 2000

Approved By: _____

Date: _____

1.0 Introduction

Sediment samples were collected from the St. Lawrence River in the vicinity of a DND ammunitions test site. Sediment samples were collected for chemical analyses and biological toxicity testing. This report summarizes the results of the toxicity testing with the freshwater amphipod, *Hyalella azteca*, on these sediment samples. Physico-chemical data to assist in data interpretation was provided by EP Quebec. Each sample was assigned a unique laboratory identification number as shown in Table 1.

2.0 Methods and Materials

2.1 Sediment Collection and Handling

Ten sediment samples were collected from October 16 to 19, 2000 and received in the lab on October 25, 2000. Samples were between 4.5 and 10°C upon arrival in the lab in Moncton, NB. Samples were stored at 4°C prior to testing. Each sediment was homogenized prior to use in bioassays. These samples were analyzed for toxicity to the freshwater amphipod, *Hyalella azteca*.

2.2 *Hyalella azteca* Test Protocol

The test organisms were 5 to 9 day old *Hyalella azteca* collected from the laboratory cultures. The neonates were isolated from the culture on November 10, 2000 and held for five days prior to the start of the test. Tests were started on November 15, 2000.

On the day prior to starting the test, each container of test sediment was homogenized and 100 mL portions were added to each of five 300 mL tall form glass beakers. The beakers were then filled with 175 mL of control/dilution water. The control/dilution water was reconstituted from distilled water with the addition of five salts, then aerated overnight prior to use (Environment Canada, 1997). The test beakers were covered, then aerated overnight with oil free compressed air at a rate of 2 to 3 bubbles/ second. Tests were conducted according to Environment Canada (1997).

The following day water quality was measured on the overlying water in the test chambers. Two of the replicates were tested for temperature, dissolved oxygen, conductivity, hardness and pH. A sample of the overlying water was taken from each replicate and combined. This combined solution was tested for ammonia.

Ten amphipods were counted into transfer dishes. The animals were double counted then added to each of the test vessels. Aeration was ceased for 30 minutes to facilitate burrowing. Testing was performed with 16 hour of light and eight hours of darkness with lighting provided by overhead fluorescent fixtures. Testing was performed at 23 ± 1°C. Tests were checked daily for observations, aeration and temperature. Three times a week a replicate of each sample is

monitored for temperature, pH and dissolved oxygen. The test solutions are fed an aqueous suspension of YCT. Each feeding is equivalent to 1.9 mg of dry solids. YCT is a food source prepared by combining yeast, Cerophyll leaves and digested trout chow (Environment Canada, 1997).

After 14 days, the contents of each jar were sieved through a 0.5 mm sieve. Any immobile animals were observed under a microscope to determine mortality, which was defined as lack of all movement when observed under a dissecting microscope for 5 - 10 seconds. Any animals missing were assumed to be dead. The mean survival and standard deviation of each treatment is calculated. Mean percentage survival of amphipods exposed to each test sediment was statistically compared to mean percent survival of amphipods exposed to the clean lab control sediment.

Any surviving animals were rinsed with distilled water and transferred to a tared weighing dish. The animals were dried at 60°C, cooled in a dessicator for 15 minutes and the dry weight of the test organisms is determined. The average dry weight of test organism for a treatment was compared to the control sediment using ANOVA statistics in SigmaStat statistical software (SPSS, 1997) to determine if exposure to the sediment caused a significant decrease in organism growth.

A reference toxicant test was conducted with copper chloride using water only exposures for 96-hours duration. This test was fed on day 0 and day 2. Using the mortality data at each test concentration, the 96 hour LC50 (concentration calculated to cause 50% mortality after 96-h exposure) was calculated using the methods of Stephan (1977). The value was entered into the control chart to ensure normal operating conditions were maintained, and that the population of amphipods used in the test was of normal sensitivity. No weights were determined in this reference toxicant test protocol.

3.0 Results and Discussion

3.1 Amphipod Bioassay

The results of the bioassay with the freshwater amphipod, *Hyalella azteca*, are provided in Table 1. The mean survival of the amphipods in control sediment, Folly Lake, was 92%. The mean survival in the test sediments was 80 to 100%. The lowest survival was found in sample ZZ4 (2000002830), one replicate of the 5 lab replicates was much lower, 40%, and could be omitted using a statistical outlier test. The mean survival for this sample with this replicate omitted would be 90%. No effects on survival were observed in any of the test sediments.

The concentration of ammonia in the over-lying water was measured at days 0 and 14 of the test. All the samples had concentrations of unionized ammonia at or below 0.05 mg NH_3-N/L. This is not a level of concern for this assay, based on previous work conducted in our laboratory.

The mean weight of the control animals at the end of the 14 day test was 0.20 mg. The weight of the organisms in the test sediments ranged from 0.19 to 0.37 mg. None of the weights of the organisms from the test sediment were statistically lower than that of the laboratory control in an ANOVA analysis. The weights for the sample sites encoded "ZZ" were higher (but not statistically different) than those for the samples encoded "AA". This is most likely a reflection of the differing grain sizes between these two groups of samples. The "ZZ" samples were predominately sand, while the "AA" samples had a high percentage of clay and fines. Using the Pearson Product Moment statistical correlation, a slight positive correlation was found between organism weight and percentage clay and TOC. In a recent test conducted in our laboratory on formulated sand/clay mixtures, no statistically significant difference was found among organism weights exposed to various grain sediments. In this experiment the organisms in clay had slightly lower weights but these were not statistically significant differences.

The reference toxicant using copper chloride had a calculated LC50 of 172 µg/L Cu with 95% confidence limits of 135 and 220. The historical mean for this analysis is 148 µg Cu/L with warning limits of 75.5 and 290 and a coefficient of variation of 36%. This result was within the warning limits and so the animals can be considered of normal sensitivity.

4.0 Conclusions

1. No effects on *Hyalella azteca* survival were observed.
2. None of the organism weights for the test sediment were significantly lower than that of the laboratory control.
3. The samples encoded "ZZ" had a higher percentage of sand than the samples encoded "AA". The mean weight for the "ZZ" samples was 0.32 mg/organism, while those for the "AA" samples was 0.22 mg/organism. This weight difference is most likely a grain size effect.
4. None of these samples would be considered toxic to the freshwater amphipod, *Hyalella azteca*.

5.0 References

Environment Canada. 1997. Biological Test Method: Test for Survival and Growth in Sediment Using the Freshwater Amphipod *Hyalella azteca*. Environment Canada, Ottawa, Ontario. Report EPS 1/RM/33. December, 1997.

SPSS Inc. 1997. SigmaStat Version 2.0 Statistical Software. SPSS Inc., Chicago, IL.

Stephan, C.E. 1977. "Methods for calculating an LC50" p. 65-84 In: Mayer, F.L. and J.L. Hamelink (eds.) Aquatic Toxicology and hazard Evaluation. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, P.A. ASTM STP 634.

Table 1: Growth and Survival Results of 14 day sediment test with *Hyalella azteca*

EQL Sample Number	Client Sample ID	Unionized NH_3-N at t=0 in overlying water (mg/L)	Unionized NH_3-N at t=14 in overlying water (mg/L)	Mean % Survival (Std. Dev.)	Average weight of organism mg (Std. Dev.)
Folly Lake Lab Control		< 0.01	0.80	92 ± 8.4	0.20 ± 0.044
2000002822	AA2	0.01	0.02	96 ± 5.5	0.23 ± 0.023
2000002823	AA1	< 0.01	0.02	98 ± 4.5	0.19 ± 0.021
2000002824	AA3	<0.01	0.02	96 ± 5.5	0.23 ± 0.025
2000002825	AA4	< 0.01	0.02	96 ± 8.9	0.20 ± 0.027
2000002826	AA5	< 0.01	0.02	92 ± 8.4	0.23 ± 0.039
2000002827	ZZ1	0.05	< 0.01	100 ± 0	0.27 ± 0.047
2000002828	ZZ2	0.04	0.01	100 ± 0	0.34 ± 0.071
2000002829	ZZ3	0.03	0.01	96 ± 5.5	0.26 ± 0.107
2000002830	ZZ4	0.04	0.01	80 ± 23.5	0.34 ± 0.125
2000002831	ZZ5	0.04	0.01	100 ± 0	0.37 ± 0.170

Table 2: Results of Grain Size Analysis.

EQL Sample Number	Client Sample ID	TOC	% Gravel	% Sand	% Clay	% Fines (Silt + Clay)
2000002822	AA2	0.83	0.3	26.8	42.2	73.0
2000002823	AA1	0.65	0.1	42.2	37.6	57.7
2000002824	AA3	0.90	0.3	33.5	42.0	66.3
2000002825	AA4	0.62	0.1	37.8	43.3	62.2
2000002826	AA5	0.48	0.4	16.2	61.8	83.3
2000002827	ZZ1	0.14	0.2	94.7	1.2	5.2
2000002828	ZZ2	0.15	0.3	92.5	1.2	7.2
2000002829	ZZ3	0.13	0.8	95.0	0.9	4.1
2000002830	ZZ4	0.17	0.5	89.2	1.5	10.2
2000002831	ZZ5	0.22	0.4	91.3	1.8	8.4

Canada